Kontrol Refrigerasi dan Tata Udara

Semester 3

Kelas
XI

KATA PENGANTAR

Kurikulum 2013 adalah kurikulum berbasis kompetensi. Di dalamnya dirumuskan secara terpadu kompetensi sikap, pengetahuan dan keterampilan yang harus dikuasai peserta didik serta rumusan proses pembelajaran dan penilaian yang diperlukan oleh peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diinginkan.

Faktor pendukung terhadap keberhasilan Implementasi Kurikulum 2013 adalah ketersediaan Buku Siswa dan Buku Guru, sebagai bahan ajar dan sumber belajar yang ditulis dengan mengacu pada Kurikulum 2013. Buku Siswa ini dirancang dengan menggunakan proses pembelajaran yang sesuai untuk mencapai kompetensi yang telah dirumuskan dan diukur dengan proses penilaian yang sesuai.

Sejalan dengan itu, kompetensi keterampilan yang diharapkan dari seorang lulusan SMK adalah kemampuan pikir dan tindak yang efektif dan kreatif dalam ranah abstrak dan konkret. Kompetensi itu dirancang untuk dicapai melalui proses pembelajaran berbasis penemuan (*discovery learning*) melalui kegiatan-kegiatan berbentuk tugas (*project based learning*), dan penyelesaian masalah (*problem solving based learning*) yang mencakup proses mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi, dan mengomunikasikan. Khusus untuk SMK ditambah dengan kemampuan mencipta .

Sebagaimana lazimnya buku teks pembelajaran yang mengacu pada kurikulum berbasis kompetensi, buku ini memuat rencana pembelajaran berbasis aktivitas. Buku ini memuat urutan pembelajaran yang dinyatakan dalam kegiatan-kegiatan yang harus dilakukan peserta didik. Buku ini mengarahkan hal-hal yang harus dilakukan peserta didik bersama guru dan teman sekelasnya untuk mencapai kompetensi tertentu; bukan buku yang materinya hanya dibaca, diisi, atau dihafal.

Buku ini merupakan penjabaran hal-hal yang harus dilakukan peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan. Sesuai dengan pendekatan kurikulum 2013, peserta didik diajak berani untuk mencari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Buku ini merupakan edisi ke-1. Oleh sebab itu buku ini perlu terus menerus dilakukan perbaikan dan penyempurnaan.

Kritik, saran, dan masukan untuk perbaikan dan penyempurnaan pada edisi berikutnya sangat kami harapkan; sekaligus, akan terus memperkaya kualitas penyajian buku ajar ini. Atas kontribusi itu, kami ucapkan terima kasih. Tak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada kontributor naskah, editor isi, dan editor bahasa atas kerjasamanya. Mudah-mudahan, kita dapat memberikan yang terbaik bagi kemajuan dunia pendidikan menengah kejuruan dalam rangka mempersiapkan generasi seratus tahun Indonesia Merdeka (2045).

Jakarta, Januari 2014
Direktur Pembinaan SMK

Drs. M. Mustaghfirin Amin, MBA

DAFTAR ISI

I. PENDAHULUAN

A. Deskripsi

Kurikulum 2013 dirancang untuk memperkuat kompetensi siswa dari sisi pengetahuan, keterampilan dan sikap secara utuh. Proses pencapaiannya melalui pembelajaran sejumlah mata pelajaran yang dirangkai sebagai suatu kesatuan yang saling mendukung pencapaian kompetensi tersebut. Buku bahan ajar dengan judul Kontrol Refrigerasi dan Tata Udara ini merupakan paket keahlian yang digunakan untuk mendukung pembelajaran pada mata pelajaran Kontrol Refrigerasi dan Tata Udara, untuk SMK Paket Keahlian Teknik Pendingin dan Tata Udara yang diberikan pada kelas XI.

Buku siswa ini menjabarkan usaha minimal yang harus dilakukan siswa untuk mencapai kompetensi yang diharapkan, yang dijabarkan dalam kompetensi inti dan kompetensi dasar. Sesuai dengan pendekatan yang dipergunakan dalam Kurikulum 2013, siswa diberanikan untuk mencari dari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Peran guru sangat penting untuk meningkatkan dan menyesuaikan daya serap siswa dengan ketersediaan kegiatan pada buku ini. Guru dapat memperkayanya dengan kreasi dalam bentuk kegiatan-kegiatan lain yang sesuai dan relevan yang bersumber dari lingkungan sosial dan alam.

Buku siswa ini disusun di bawah koordinasi Direktorat Pembinaan SMK, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, dan dipergunakan dalam tahap awal penerapan Kurikulum 2013. Buku ini merupakan "dokumen hidup" yang senantiasa diperbaiki, diperbaharui, dan dimutakhirkan sesuai dengan dinamika kebutuhan dan perubahan zaman. Masukan dari berbagai kalangan diharapkan dapat meningkatkan kualitas buku ini.

B. Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar

KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI DASAR
1. Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya	1.1. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama dalam melaksanakan pekerjaan di bidang kontrol refrigerasi dan tata udara. 1.2. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang kontrol refrigerasi dan tata udara.
2. Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan proaktif, dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia	2.1. Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam pekerjaan di bidang kontrol refrigerasi dan tata udara. 2.2. Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikirdalam melakukan tugas memasang dan memelihara peralatan refrigerasi dan tata udara. 2.3. Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam melakukan pekerjaan di bidang bidang kontrol refrigerasi dan tata udara.
3. Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, dan prosedural berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.	3.1. Menentukan prosedur keselamatan dan kesehatan kerja di bidang pekerjaan elektrikal 3.2. Menafsirkan gambar sistem kelistrikan unit refrigerasi domestik 3.3. Menentukan komponen dan sistem distribusi tenaga listrik tegangan rendah. 3.4. Menentukan prosedur pemasangan instalasi kotak kontak listrik biasa 3.5. Menentukan sistem dan rangkaian kontrol otomatik 3.6. Menentukan kondisi operasi sakelar otomatik berbasis suhu 3.7. Menentukan sistem dan rangkaian pengontrolan suhu 3.8. Menentukan sistem dan rangkaian pengontrolan operasi kompresor refrigerasi satu fasa 3.9. Menganalisa gangguan pada sistem kontrol refrigerasi dan tata udara
4. Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait	4.1. Menerapkan keselamatan dan kesehatan kerja di bidang pekerjaan elektrikal

KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI DASAR
dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung	4.2. Menyajikan gambar sistem kelistrikan refrigerasi domestik 4.3. Memeriksa komponen dan sistem distribusi tenaga listrik pada papan hubung bagi (PHB) 4.4. Memasang instalasi kotak kontak listrik biasa (KKB) 4.5. Memeriksa sistem dan rangkaian kontrol otomatik 4.6. Memeriksa kondisi operasi sakelar otomatik berbasis suhu 4.7. Memeriksa sistem dan rangkaian pengontrolan suhu 4.8. Memeriksa sistem dan rangkaian pengontrolan operasi kompresor 4.9. Melacak gangguan pada sistem kontrol refrigerasi dan tata udara sistem satu fasa

C. Silabus

Satuan Pendidikan : SMK
Program Keahlian : Teknik Ketenagalistrikan
Paket Keahlian : Teknik Pendingin & Tata Udara
Mata Pelajaran : Kontrol Refrigerasi dan Tata Udara
Kelas /Semester : XI

Kompetensi Inti

KI 1 : Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya

KI 2 : Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan pro-aktif dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia.

KI 3 : Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan metakognitif berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.

KI 4 : Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, bertindak secara efektif dan kreatif dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
1.1. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama dalam melaksanakan pekerjaan di bidang kontrol refrigerasi dan tata udara. 1.2. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang kontrol refrigerasi dan tata					

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
udara.					
2.1. Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam pekerjaan di bidang kontrol refrigerasi dan tata udara. 2.2. Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikir dalam melakukan tugas memasang dan memelihara peralatan refrigerasi dan tata udara. 2.3. Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam melakukan pekerjaan di bidang bidang kontrol refrigerasi dan tata udara.					
3.1. Menentukan prosedur keselamatan dan kesehatan di bidang	• Sengatan arus listrik • Tegangan Langkah dan Tegangan Sentuh	**Mengamati :** Mengamati fenomena sengatan arus listrik, tegangan langkah dan tegangan sentuh, cidera	**Kinerja:** • Pengamatan sikap kerja	4 x 4 JP	J. Dossat, Modern Refrigeration, Prentice Hall, 1990

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
pekerjaan elektrikal 4.1. Menerapkan prosedur keselamatan dan kesehatan kerja di bidang pekerjaan elektrikal.	• Cidera akibat Sengatan Arus Listrik • Tanda Bahaya dan Alat Pelindung Diri • Sistem Pentanahan Listrik - Elektroda pentanahan - Penghantar pentanahan • Pengaman Listrik • Prosedur Lock Out dan Tag Out • Petunjuk Keselamatan dan P3K	akibat sengatan arus listrik, tanda bahaya dan alat pelindung diri, sistem pentanahan, pengaman listrik, prosedur lock out dan tag out, serta petunjuk keselamatan dan P3K **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan berfikir kritis dan kreatif dengan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang fenomena sengatan arus listrik, tegangan langkah dan tegangan sentuh, cidera akibat sengatan arus listrik, tanda bahaya dan alat pelindung diri, sistem pentanahan, pengaman listrik, prosedur lock out dan tag out, serta petunjuk keselamatan dan P3K **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang fenomena sengatan arus listrik, tegangan langkah dan tegangan sentuh, cidera akibat sengatan arus listrik, tanda bahaya dan alat pelindung diri, sistem pentanahan, pengaman listrik, prosedur lock out dan tag out, serta petunjuk keselamatan dan P3K **Mengasosiasi :** Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan fenomena sengatan arus listrik, tegangan langkah dan tegangan sentuh, cidera akibat	• Pengamatan kegiatan praktek terkait dengan prosedur keselamatan dan kesehatan kerja di bidang pekerjaan elektrikal. **Tes:** Tes lisan/ tertulis terkait dengan sengatan arus listrik dan upaya pencegahannya serta dan penanganan korban tersengat arus listrik yang lazim dilakukan di dunia kerja/industri **Portofolio:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis **Tugas:** Penerapan prosedur keselamatan dan kesehatan kerja		Goliber, Paul F., 1986 Refrigeration servicing, Bombay, D.B. Taraporevala Son & Co, Private Ltd. A Harris, 1986, Air Conditioning Practices, Mc. Graw Hill Trane reciprocating Refrigeration Manual

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		sengatan arus listrik, tanda bahaya dan alat pelindung diri, sistem pentanahan, pengaman listrik, prosedur lock out dan tag out, serta petunjuk keselamatan dan P3K **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang fenomena sengatan arus listrik, tegangan langkah dan tegangan sentuh, cidera akibat sengatan arus listrik, tanda bahaya dan alat pelindung diri, sistem pentanahan, pengaman listrik, prosedur lock out dan tag out, serta petunjuk keselamatan dan P3K			
3.2. Menafsirkan gambar system kelistrikan unit refrigerasi domestik 4.2. Menyajikan gambar sistem kelistrikan refrigerasi domestik	• Simbol komponen listrik • Motor listrik • Rele dan kontaktor • Starter Magnetik • Sakelar Otomatik • Piranti pengaman • Diagram Skematik • Diagram Ladder Diagram Pengawatan	**Mengamati :** Mengamati Simbol komponen listrik, Motor listrik, Rele dan kontaktor, Starter Magnetik, Sakelar Otomatik, Piranti pengaman, Diagram Skematik, Diagram Ladder, dan Diagram Pengawatan yang lazim dunia refrigerasi dan tata udara. **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan berfikir kritis dan kreatif dengan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang Simbol komponen listrik, Motor listrik, Rele dan kontaktor, Starter Magnetik, Sakelar Otomatik, Piranti pengaman, Diagram Skematik, Diagram Ladder, dan Diagram Pengawatan yang lazim dunia refrigerasi dan tata udara. **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab	**Kinerja:** • Pengamatan sikap kerja • Pengamatan kegiatan praktek penanganan korban tersengat listrik yang lazim dilakukan di dunia kerja/industri, serta pencegahan tersengat arus listrik dan penggunaan buku manual dan electrical diagram. **Tes:** Tes lisan/ tertulis terkait dengan bahaya tersengat arus listrik dan upaya pencegahannya serta dan	4 x 4 JP	J. Dossat, Modern Refrigeration, Prentice Hall, 1990 Goliber, Paul F., 1986 Refrigeration servicing, Bombay, D.B. Taraporevala Son & Co, Private Ltd. A Harris, 1986, Air Conditioning Practices, Mc. Graw Hill Trane reciprocating Refrigeration Manual

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		pertanyaan yang diajukan tentang Simbol komponen listrik, Motor listrik, Rele dan kontaktor, Starter Magnetik, Sakelar Otomatik, Piranti pengaman, Diagram Skematik, Diagram Ladder, dan Diagram Pengawatan yang lazim dunia refrigerasi dan tata udara. **Mengasosiasi :** Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan Simbol komponen listrik, Motor listrik, Rele dan kontaktor, Starter Magnetik, Sakelar Otomatik, Piranti pengaman, Diagram Skematik, Diagram Ladder, dan Diagram Pengawatan yang lazim dunia refrigerasi dan tata udara. **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang Simbol komponen listrik, Motor listrik, Rele dan kontaktor, Starter Magnetik, Sakelar Otomatik, Piranti pengaman, Diagram Skematik, Diagram Ladder, dan Diagram Pengawatan yang lazim dunia refrigerasi dan tata udara.	penanganan korban tersengat arus listrik yang lazim dilakukan di dunia kerja/industri **Portofolio:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis **Tugas:** Penafsiran dan Penyajian gambar sistem keistrikan		
3.3. Menentukan komponen dan sistem distribusi tenaga listrik tegangan rendah pada sisi konsumen. 4.3 Memeriksa komponen pada papan distribusi tenaga listrik pada sisi konsumen	• Sistem Distribusi tenaga Listrik - sistem satu fasa - sistem tiga fasa • Papan Distribusi Tenaga Listrik - Kotak PHB - Komponen utama	**Mengamati :** Mengamati sistem distribusi tenaga llistrik sistem satu fasa dan tiga fasa tegangan rendah, papan distribusi tenaga listrik pada sisi konsumen mencakupi fungsi, komponen, dan sirkit diagram, serta pemeriksan komponennya. **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk	**kinerja:** • Penyiapan pekerjaan modifikasi PHB • Pelaksanaan penggantian/penambahan circuit breaker pada PHB satu fasa • Pelaksanaan penggantian/penamba	5 x 4 JP	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
	- Komponen bantu - Diagram Satu garis • Sistem Pentanahan (Pembumian) - Sistem TN - Sistem TT • Kerja Proyek 1 Membuat sketsa sistem distribusi tenaga listrik pada sisi konsumen. • Kerja proyek 2 Memeriksa komponen pada papan distribusi tenaga listrik pada sisi konsumen	membiasakan berfikir kritis dengan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang sistem distribusi tenaga llistrik sistem satu fasa dan tiga fasa tegangan rendah, papan distribusi tenaga listrik pada sisi konsumen mencakupi fungsi, komponen, dan sirkit diagram, serta pemeriksan komponennya. . **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang sistem distribusi tenaga llistrik sistem satu fasa dan tiga fasa tegangan rendah, papan distribusi tenaga listrik pada sisi konsumen mencakupi fungsi, komponen, dan sirkit diagram, serta pemeriksan komponennya. **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan sistem distribusi tenaga llistrik sistem satu fasa dan tiga fasa tegangan rendah, papan distribusi tenaga listrik pada sisi konsumen mencakupi fungsi, komponen, dan sirkit diagram, serta pemeriksan komponennya. **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang sistem distribusi tenaga llistrik sistem satu fasa	han circuit breaker pada PHB satu fasa **Tes:** Tes tertulis terkait dengan kerja pemipaan refrigerasi, mencakupi aturan keselamatan kerja, penggunaan peralatan kerja, penggunaan alat pelindung diri, gambar kerja, dan prosedur kerja **Portofolio:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis. **Tugas:** Membuat sketsa sistem distribusi tenaga listrik Merakit panel hubung bagi Memeriksa panel hubung bagi		

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		dan tiga fasa tegangan rendah, papan distribusi tenaga listrik pada sisi konsumen mencakupi fungsi, komponen, dan sirkit diagram, serta pemeriksan komponennya..			
3.4. Menentukan prosedur pemasangan instalasi kotak kontak biasa (KKB) 4.4 Memasang instalasi kotak kontak khusus (KKK) sistem satu fasa dan tiga fasa	• Kabel penghantar - standarisasi warna - jenis kabel - ukuran kabel - daya hantar arus - penentuan ukuran kabel • Pipa - jenis pipa - ukuran pipa - Penggunaan • Cabel Duct - jenis - Ukuran - penggunaan • Kotak Kontak Biasa (KKB)	**Mengamati :** Mengamati instalasi kotak kontak biasa (KKB) mencakupi kabel penghantar, pipa, cabel duct, sirkit diagram dan pemasangan instalasi KKB. **Menanya :** Mengamati instalasi instalasi kotak kontak biasa (KKB) mencakupi kabel penghantar, pipa, cabel duct, sirkit diagram dan pemasangan instalasi KKB. **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang instalasi kotak kontak biasa (KKB) mencakupi kabel penghantar, pipa, cabel duct, sirkit diagram dan pemasangan instalasi KKB. **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan instalasi kotak kontak biasa (KKB) mencakupi kabel penghantar, pipa, cabel duct, sirkit diagram dan pemasangan instalasi KKB. **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang	**Kinerja:** • Penyiapan pekerjaan pemasangan instalasi KKK • Pelaksanaan pekerjaan pemasangan instalasi KKK **Tes:** Tes lisan/ tertulis terkait dengan persiapan dan pelaksanaan pemasangan instalasi KKK sistem satu fasa dan tiga fasa **Portofolio:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis **Tugas**: Pemasangan KKB satu fasa dan tiga fasa	6 x 4 JP	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		fungsi, komponen, dan instalasi KKB			
3.5. Menentukan sistem dan rangkaian kontrol otomatik 4.5. Memeriksa sistem dan rangkaian kontrol otomatik	• Dasar Sistem kontrol • Control Loop • Mode Kontrol • Komponen Sisten Kontrol	**Mengamati :** Mengamati aplikasi sistem kontrol otomatik **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang sistem kontrol otomatik,. **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang sistem kontrol otomatik. **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan sistem kontrol otomatik mulai dari pengukuran parameter aplikasi sistem kontrol semi otomatik dan melakukan percobaan aplikasi sistem semi otomatik pada unit refrigerasi dan tata udara. **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang prinsip, operasi dan instalasi sistem kontrol semi otomatik.	**Kinerja:** • Pengematan sikap kerja • Pengamatan kegiatan praktek aplikasi sistem kontrol otomatik **Tes:** Tes tertulis terkait dengan aplikasi sistem kontrol otomatik **Portofolio:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis. **Tugas:** Pemilihan sistem kontrol otomatik	4 x 4 jp	
3.6. Menentukan kondisi operasi sakelar otomatik berbasis suhu	• Prinsip Pengontrolan Suhu • Pemeriksaan Thermostat • Pengaturan Range dan Differential	**Mengamati :** Mengamati sistem pengontrolan suhu baik secara elektromekanik dan elektronik, mencakupi komponen kontrol, fungsi dan performansi.	**Kinerja:** • Pengematan sikap kerja Pengamatan kegiatan	3 x 4 JP	J. Dossat, Modern Refrigeration, Prentice Hall, 1990

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
4.6 Memeriksa sakelar otomatik berbasis suhu		**Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang pemeriksaan sistem pengontrolan suhu baik secara elektromekanik dan elektronik, mencakupi komponen kontrol, fungsi dan performansi **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang sistem pengontrolan suhu baik secara elektromekanik dan elektronik, mencakupi komponen kontrol, fungsi dan performansi **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan sistem pengontrolan suhu baik secara elektromekanik dan elektronik, mencakupi komponen kontrol, fungsi dan performansi. **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang set-up sistem kontrol semi otomatik baik secara elektromekanik dan elektronik, mencakupi komponen kontrol, fungsi dan performansinya	praktek set-up sistem kontrol semi otomatik baik secara elektromekanik dan elektronik, mencakupi komponen kontrol, fungsi dan performansinya **Tes:** Tes tertulis terkait dengan set-up sistem kontrol semi otomatik baik secara elektromekanik dan elektronik, mencakupi komponen kontrol, fungsi dan performansinya **Portofolio:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis. Tugas: Set-up sistem kontrol semi otomatik baik secara elektromekanik dan elektronik, mencakupi suhu dan tekanan		Goliber, Paul F., 1986 Refrigeration servicing, Bombay, D.B. Taraporevala Son & Co, Private Ltd. A Harris, 1986, Air Conditioning Practices, Mc. Graw Hill Trane reciprocating Refrigeration Manual
3.7. Menentukan sistem dan rangkaian pengontrolan	• Perangkat kontrol • Thermostat	**Mengamati :** Mengamati perangkat kontrol pada sistem	**Kinerja:** • Pengamatan sikap	3 x 4 JP	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
suhu 4.7 Memeriksa Sistem dan Rangkaian Pengontrolan suhu		refrigerasidan thermostat, **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang perangkat kontrol pada sistem refrigerasidan thermostat, **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang perangkat kontrol pada sistem refrigerasidan thermostat, **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan perangkat kontrol pada sistem refrigerasidan thermostat, **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang perangkat kontrol pada sistem refrigerasidan thermostat	kerja • Pengamatan kegiatan praktek pemeriksaan thermostat **Tes:** Tes tertulis terkait dengan perangkat kontrol pada sistem refrigerasidan thermostat **Portofolio:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis. Tugas: Pemeriksaan perangkat kontrol pada sistem refrigerasidan thermostat		
3.8. Menentukan sistem dan rangkaian pengontrolan operasi kompresor satu fasa 4.8 Memeriksa rangkaian pengontrolan operasi kompresor satu fasa	• Pengontrolan Motor Kompresor berbasis suhu • Pengontrolan motor kompresor berbasis tekanan • Piranti Pengaman kompresor	**Mengamati :** Mengamati sistem pengontrolan motor kompresor berbasis suhu, berbasis tekanan, dan piranti pengaman kompresor **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang sistem sistem pengontrolan motor kompresor berbasis suhu,	**Kinerja:** • Pengamatan sikap kerja • Pengamatan kegiatan praktek pemeriksan rangkaian pengontrolan motor kompresor **Tes:**	3 x 4 JP	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		berbasis tekanan, dan piranti pengaman kompresor, **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang sistem sistem pengontrolan motor kompresor berbasis suhu, berbasis tekanan, dan piranti pengaman kompresor **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan sistem sistem pengontrolan motor kompresor berbasis suhu, berbasis tekanan, dan piranti pengaman kompresor, **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang sistem pengontrolan motor kompresor berbasis suhu, berbasis tekanan, dan piranti pengaman kompresor,	Tes tertulis terkait dengan sistem pengontrolan suhu dan tekanan kerja, pengontrolan operasi motor kompresor satu fasa, **Portofolio:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis. Tugas: Perakitan sistem kontrol suhu Perakitan sistem kontrol operasi ekonomis kompresor		
3.9. Menganalisa gangguan pada sistem kontrol refrigerasi dan tata udara sistem satu fasa 4.9 Melacak gangguan pada sistem kontrol refrigerasi dan tata udara sistem satu fasa	Gangguan pada Rangkaian Kompresor • Gangguan pada Pressure Control • Pelacakan Gangguan	**Mengamati :** Mengamati kondisi faktual gangguan pada sistem kontrol refrigerasi dan tata udara dan membandingkannya jenis gangguan yang ada pada folwchart untuk keperluan pelacakan gangguan pada sistem kontrol. **Menanya :** Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara	**Kinerja:** • Pengamatan sikap kerja • Pengamatan kegiatan praktek .pelacakan gangguan pada sistem kontrol secara faktual dan konseptual **Tes:**	4 x 4 jp	

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		aktif dan mandiri tentang jenis gangguan dan pelacakan gangguan pada sistem control secara faktual dan secara konseptual. **Mengeksplorasi :** Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang jenis gangguan dan pelacakan gangguan pada sistem control secara faktual dan konseptual. **Mengasosiasi :** Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan jenis gangguan dan pelacakan gangguan pada sistem control secara faktual dan konseptual. **Mengkomunikasikan :** Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang pelacakan gangguan pada sistem kontrol secara faktual dan konseptual.	Tes tertulis terkait dengan jenis gangguan dan pelacakan gangguan pada sistem kontrol secara faktual dan konseptual. **Portofolio:** Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis. Tugas: Pelacakan gangguan sistem kelistrikan.		

Catatan: jumlah minggu efektif semester ganjil/genap = 20/16 minggu.

D. Rencana Aktivitas Belajar

Proses pembelajaran pada Kurikulum 2013 untuk semua jenjang dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan ilmiah. Langkah-langkah pendekatan ilmiah (*scientific approach*) dalam proses pembelajaran meliputi menggali informasi melaui pengamatan, bertanya, percobaan, kemudian mengolah data atau informasi, menyajikan data atau informasi, dilanjutkan dengan menganalisis, menalar, kemudian menyimpulkan, dan mencipta. Pada buku ini, seluruh materi yang ada pada setiap kompetensi dasar diupayakan sedapat mungkin diaplikasikan secara prosedural sesuai dengan pendekatan ilmiah.

Melalui buku bahan ajar ini, kalian akan mempelajari apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah sistem refrigerasi, instalasi dan aplikasinya. Langkah awal untuk mempelajari sistem dan instalasi refrigerasi adalah dengan melakukan pengamatan (observasi). Keterampilan melakukan pengamatan dan mencoba menemukan hubungan-hubungan yang diamati secara sistematis merupakan kegiatan pembelajaran yang sangat aktif, inovatif, kreatif dan menyenangkan. Dengan hasil pengamatan ini, berbagai pertanyaan lanjutan akan muncul. Nah, dengan melakukan penyelidikan lanjutan, kalian akan memperoleh pemahaman yang makin lengkap tentang masalah yang kita amati

Buku bahan ajar "Kontrol Refrigerasi dan Tata Udara 1 ini, digunakan untuk memenuhi kebutuhan minimal pembelajaran pada kelas XI, semester ganjil, mencakupi kompetensi dasar 3.1 dan 4.1 sampai dengan 3.5. dan 4.5, yang terbagi menjadi lima kegiatan belajar, yaitu (1) Menerapkan keselamatan kerja pada pekerjaan elektrikal, (2) Menafsirkan gambar kelistrikan sistem refrigerasi domestik, (3) Memeriksa komponen dan sistem distribusi tenaga listrik pada panel distribusi daya tegangan rendah, (4) Memasang instalasi kotak kontak.

II. PEMBELAJARAN

A. Kegiatan Belajar 1

Menerapkan keselamatan kerja pada pekerjaan elektrikal.

1. Pendahuluan

Saat ini, kita merasakan bahwa energi listrik merupakan hal yang jamak di dalam lingkungan kehidupan kita. Saking jamaknya, kadang sebagian kita lupa atau tidakmenyadari keberadaan listrik disekitarnya. Baru ketika ada pemadaman mendadak dari PLN, mereka baru tersadar betapa sangat pentingnya keberadaan energi listrik di sekitarnya. Sungguh sulit dibayangkan, bila dalam fasa kehidupan modern seperti yang kita alami saat ini tanpa energi listrik. Mari kita renungkan sejenak, apapun bagian kehidupan kita, listrik memainkan peran penting. Mulai dari aktivitas kehidupan di rumah masing-masing hingga aktivitas kehidupan lainnya, seperti bekerja di kantor, belanja, rekreasi,dan aktivitas pemeliharaan kesehatan tubuh. Rumah kita dipenuhi dengan berbagai peralatan listrik baik untuk keperluan pribadi, seperti sikat gigi, alat pencukur, pengering rambut, untuk keperluan memasak, seperti mixer, blender, rice cooker, toaster, untuk keperluan pengawetan makanan, seperti refrigerator, dan freezer, dan untuk keperluan kenyamanan hunian seperti exhaust fan dan room AC. Banyak orangbekerja dilokasi yang menggunakan peralatan listrik skala besar. Biasanya peralatan tersebut beroperasi dengan tegangan tinggi. Apapun yang dikerjakannya, mereka berdekatan dengan sumber tegangan listrik yang berbahaya.

Elemen paling penting yang perlu diingat ketika berurusan dengan rangkaian listrik adalah memperhatikannya dengan seksama. Tidak mungkin bagi teknisi/mekanik peralatan refrigerasi dan tata udara dapat melakukan pelacakan gangguan dengan layak ketika peralatannya tidak mendapat catu daya listrik. Sehingga tidak boleh tidak, harus bekerja menggunakan prosedur aman ketika peralatannya masih bertegangan.Meskipun banyak prosedur pelacakan gangguan dapat dilakukan ketika

catu daya listrik ke peralatan diputuskan, misalnya pemeriksaan kondisi motor listrik, rele, kontaktor, transformator, dan peralatan listrik lainnya, tetapi di lain kesempatan, pelacakan gangguan harus dilakukan ketika peralatannya masih terhubung ke sumber tegangan, sebagai contoh memeriksa tegangan yang masuk pada peralatan, memeriksa tegangan pada suatu piranti atau komponen, atau memeriksa tegangan jatuh pada pasangan kontak rele.

Satu hal yang paling penting, teknisi refrigerasi & tata udara harus belajar bagaimana bekerja dengan aman di sekitar peralatan ketika masih mendapat catu daya listrik. Para teknisi yang profesional tidak boleh takut dengan listrik, tetapi mereka harus selalu berhati-hati dalam bekerja dan tidak boleh lengah ketika sedang bekerja pada peralatan yang masih bertegangan. Jadi para teknisi atau mekanik refrigerasi & tata udara harus memahami bagaimana bekerja dengan aman tanpa mengalami kecelakaan kerja.

Bekerja dengan mengutamakan keselamatan merupakan suatu keharusan untuk mencegah kecelakaan, misalnya bahaya tersengat arus listrik, kebakaran, ledakan, kerusakan mekanik, dan mengalami kecelakaan di tempat kerja.

Barangkali, bahaya yang paling besar adalah terkena sengatan arus listrik. Arus listrik yang mengalir melalui badan manusia melebihi 10 miliamper dalam waktu beberapa detik dapat menimbulkan kelumpuhan kepada korban. Bila arus yang mengalir sebesar 100 miliamper atau lebih besar dalam waktu dua detik atau lebih dapat berakibat fatal.

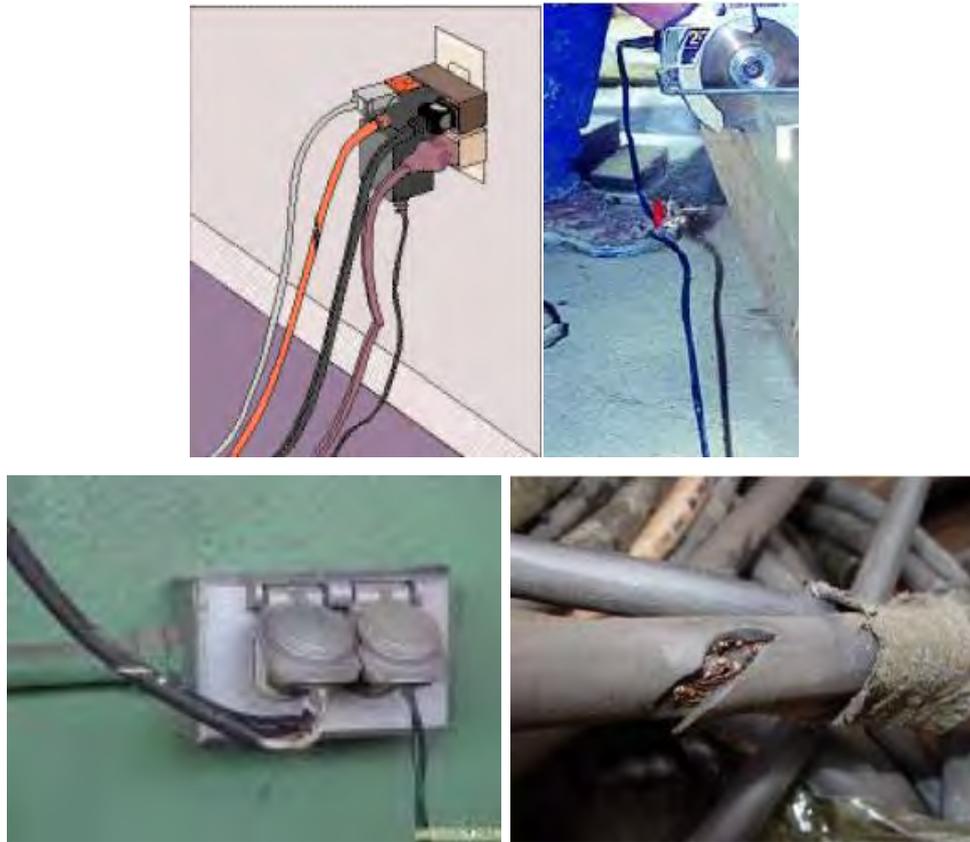
Semakin tinggi tegangan semakin besar pula arus yang dapat mengalir melalui badan manusia. Bahaya sengatan listrik meningkat seiring meningkatnya tegangan. Personil yang bekerja di daerah tegangan tinggi, harus mendapat pelatihan kerja yang bagus dan dilengkapi dengan peralatan pengaman diri yang memadai.

Ketika kulit kita berkeringat atau basah, maka resistansi badan terhadap arus listrik menjadi turun dengan drastis. Bilamana itu terjadi, terkena sengatan arus listrik pada tegangan nominal akan dapat berakibat fatal.

Oleh karena itu, perlunya memahami prosedur keselamatan kerja, antara lain:

(1) Memahami bahaya dan cara menghindari sengatan arus listrik
(2) Memastikan ada sistem pentanahan listrik yang bagus.
(3) Memastikan sistem pengaman listrik dalam kondisi bagus dan benar
(4) Menerapkan prosedur lock out ketika sedang bekerja di daerah bertegangan.

2. Sengatan Arus Listrik

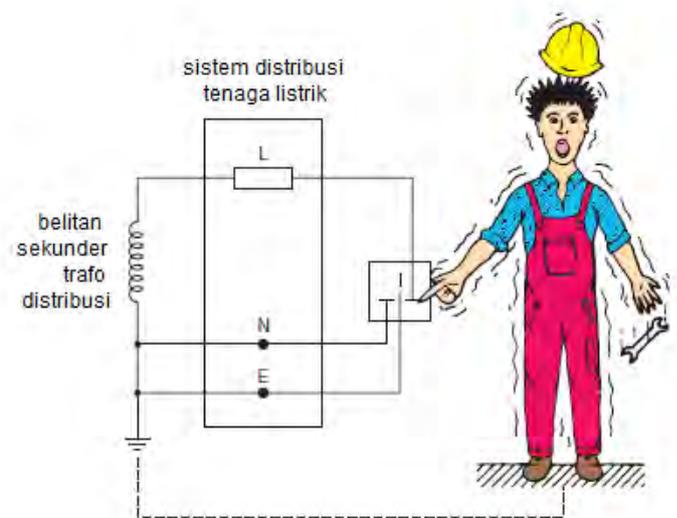
Tesengat arus listrik dan tubuh terbakar merupakan resiko umum yang dialami oleh personil yang bekerja di bidang refrigerasi dan tata udara. Tidak mungkin melakukan pekerjaan instalasi atau troubleshooting peralatan refrgerasi dan tata udara tanpa menghubungkan peralatan tersebut ke sumber daya listrik. Hal ini sudah menjadi tanggung jawab para teknisi/mekanik refrigerasi & tata udara memikirkan prosedur kerja yang aman ketika bekerja disekitar peralatan yang masih terhubung ke sumber tegangan tanpa bersentuhan dengan penghantar atau komponen lainnya yang masih bertegangan.

Gambar 1.1 Kondisi Yang Membahayakan

Lembar Kerja 1:

Terkait dengan sengatan listrik dan resiko yang diakibatkannya, kali ini kalian harus mendiskusikan pengetahuan faktual yang dapat kalian jumpai dalam kehidupan sehari-hari yakni fenomena sengatan arus listrik. Gambar 1.1. memperlihatkan kondisi yang dapat menimbulkan bahaya tersengat arus listrik. Diskusikan dengan teman sekelompokmu untuk menjawab pertanyaan mendasar yaitu Apa, bagaimana, dan mengapa terkait dengan fenomena sengatan arus listrik. Untuk itu kalian harus mencari informasi-informasi yang terkait dengan masalah tersebut melalui membaca materi pelajaran dalam buku bahan ajar ini, dan melalui sumber-sumber informasi lain, yang dapat kalian peroleh dari buku sekolah elektronik, dari majalah ilmiah populer, atau dari situs-situs pendidikan lewat internet! Presentasikan hasil penemuanmu di kelas agar dapat dibahas dengan kelompok lain. Kemudian buatlah laporan pelaksanaan kegiatan secara indidu.

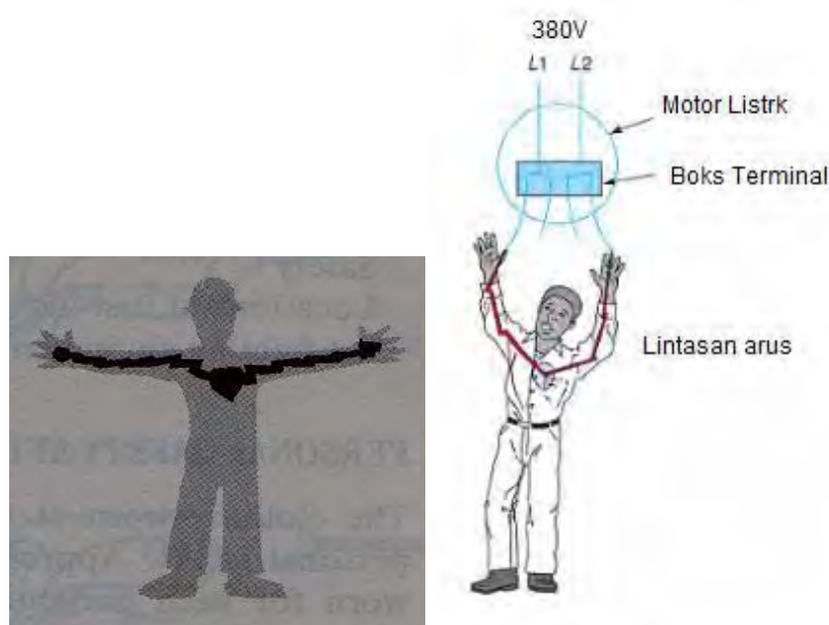
Tersengat Arus Listrik

Tersengat arus listrik dapat terjadi ketika seseorang menjadi bagian dari rangkaian listrik. Ketika arus listrik melewati tubuh manusia, hasilnya dapat berbeda-beda mulai dari mengalami sensasi sengatan ringan hingga mengalami sensasi yang lebih berat dan kematian. Akibat yang dapat ditimbulkan oleh sengatan arus listrik terhadap seseorang tergantung pada besar arus listrik yang mengalir melalui tubuh, lintasan arus listrik, dan lama waktu. Para teknisi harus mencegah jangan sampai tubuhnya menjadi bagian penghantar antara kabel fasa dan kabel netral dalam suatu rangkaian listrik yang bertegangan.

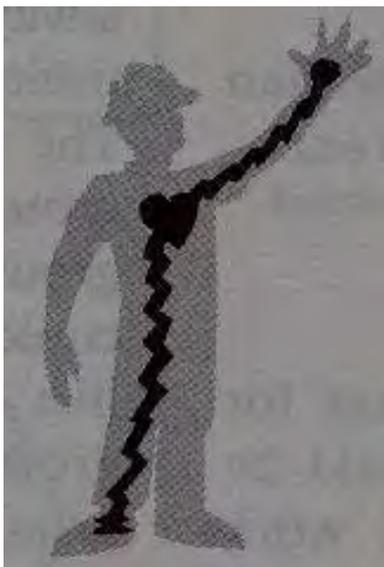
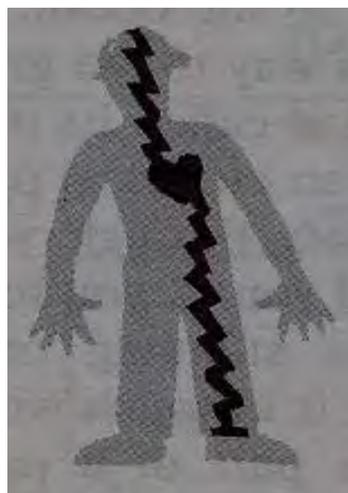
Tubuh kita dapat menjadi bagian dari rangkaian listrik melalui beberapa kejadian. Pertama, tubuh kita dapat menjadi bagian dari suatu rangkaian listrik bila kita menyentuh penghantar bertegangan seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.2. Terlihat telunjuk tangan personil menyentuh terminal Kotak Kontak Biasa (KKB) pada penghantar fasa. Arus listrik mengalir melalui jari telunjuk ke kaki selanjutnya melalui tanah kembali ke titik pembumian trafo distribusi.

Gambar 1.2 Lintasan arus listrik melalui tubuh manusia dari tangan ke tangan

Besaran arus listrik yang dapat menimbulkan cidera serius bagi tubuh manusia sangat rendah. Energi listrik yang dimasukkan ke suatu rangkaian listrik disebut gaya

elektromotif, yang diukur dalam satuan volt. Dalam dunia refrigersi dan tata udara, para teknisi/mekanik seringkali berhubungan dengan tegangan 24 volt, yang lazim diterapkan pada rangkaian kontrol sistem komersial/industrial, 220 volt yang banyak digunakan untuk menggerakkan kompresor sistem residental/domestik, atau 380 volt tegangan yang digunakan pada sistem tiga fasa untuk menggerakkan kompresor pada sistem komersial dan industrial. Tegangan tersebut dapat menyebabkan cidera serius bila mengenai tubuh manusia.

Cara kedua, tubuh kita dapat menjadi bagian dari suatu rangkaian listrik bila kita menyentuh dua kabel bertegangan, kabel fasa dan kabel netral atau kabel pentanahan (ground) secara bersamaan, seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.3. Arus listrik mengalir dari tangan kiri ke tangan kanan melalui jantung korban.

Gambar 1.3 Lintasan arus listrik melalui tubuh manusia dari tangan ke tangan

Kawat pentanahan dalam sistem elektrifikasi merupakan konduktor atau penghantar yang utamanya digunakan untuk melindungi atau memproteksi gangguan yang dapat terjadi dalam sistem kelistrikan di mana dalamkeadaan atau kondisi normal tanpa gangguan tidak dialiri oleh arus listrik. Kawat netral dalam sistem kelistrikan merupakan konduktor yang dalam kondisi normal dialiri oleh arus listrik, dan

terhubung ke tanah. Cara lain yang dapat mengakibatkan tubuh kita menjadi bagian rangkaian listrik adalah bila salah satu bagian tubuh kita (tangan) bersentuhan dengan penghantar tersebut dan bagian tubuh yang lain menyentuh tanah. Seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.4. Konduktor adalah kawat tembaga atau bahan lain yang digunakan sebagai lintasan untuk mengalirkan energi listrik. Cara lainnya lagi seperti diperlihatkandalam Gambar 1.5. lintasan arus bergerak dari kepala yang menyentuh kabel bertegangan menuju ke kaki dan ke tanah.

Gambar 1.4 Lintasan arus listrik melalui tubuh manusia dari tangan ke kaki

Gambar 1.5 Lintasan arus listrik melalui tubuh manusia dari kepala ke kaki

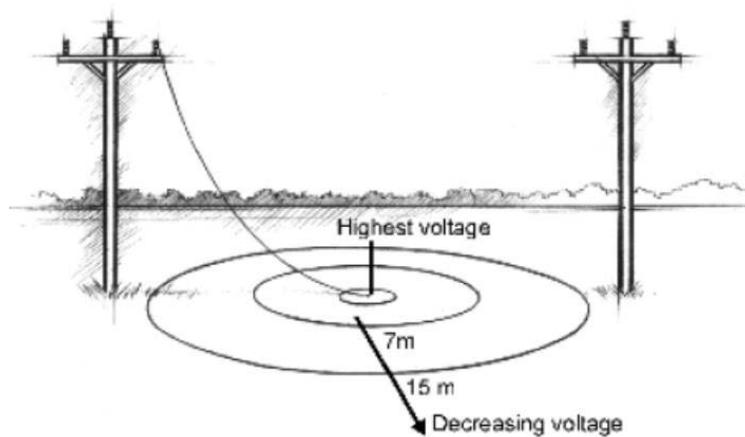
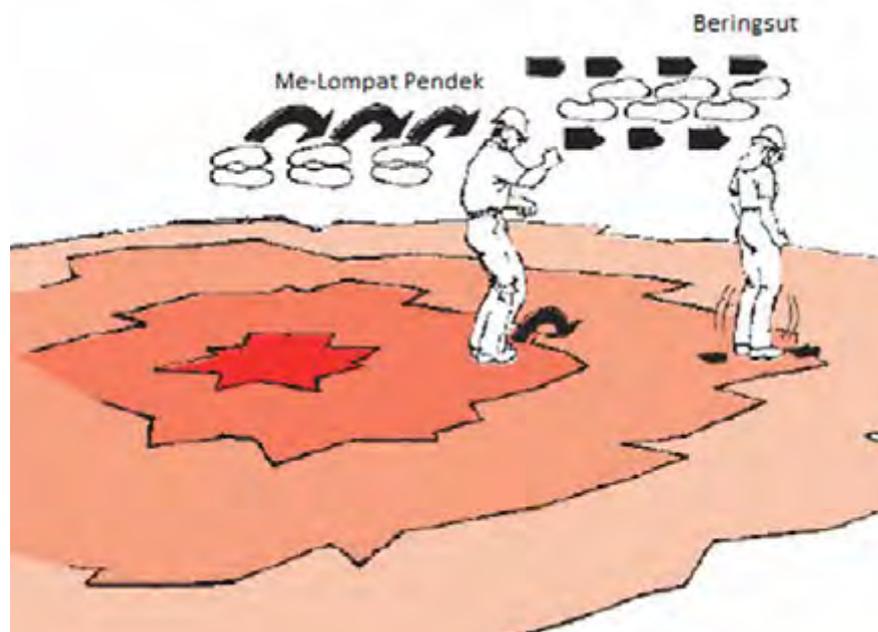
3. Tegangan Langkah (*Step Potential*) dan Tegangan Sentuh

Selama terjadi gangguan hubungan ke tanah (*ground fault*), arus listrik mengalir melalui grounding system ke ground rod atau sistem pembumian lainnya (*struktur besi, kawat pentanahan*) dan kembali ke sumber tenaga listriknya. Kemungkinan aliran arus listrik dapat terjadi di sepanjang permukaan tanah pada jarak tertentu di sekitar titik di mana tanah mendapat penguatan atau menjadi bertegangan. Arus listrik akan mengikuti di bagian paling dekat dengan konduktor yang mengalirkan arus gangguan. Tegangan langkah (*step potential*) disebabkan oleh aliran arus gangguan melalui tanah. Semakin dekat personil dengan *ground rod atau grounded device*, semakin besar konsentrasi arus dan semakin besar pula tegangan atau potensial listriknya.

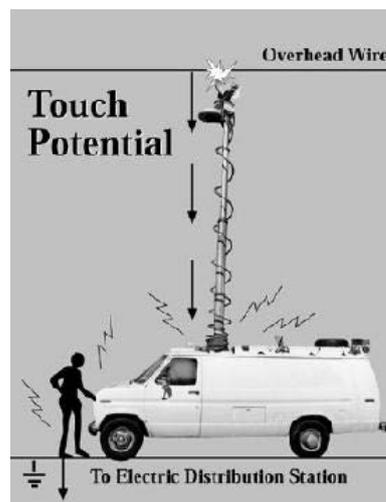
Aliran arus listrik menciptakan tegangan jatuh (*voltage drop*) karena adanya arus listrik mengalir melalui permukaan tanah dan seseorang atau personil maintenance yang berdiri dengan lebar langkah kaki tertentu seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.6, menjadi bagian jembatan dari voltage drop sehingga menciptakan lintasan paralel bagi aliran arus listrik.

Semakin besar lebar langkah kaki personil, semakin besar beda tegangan yang dirasakan oleh personil tersebut. Untuk memproteksi diri atau menghindar dari bahaya terkena tegangan langkah bagi personil yang sedang bekerja di zona equipotensial, dapat melakukan pertahanan terbaik secara sederhana yaitu selalu waspada terhadap adanya tegangan langkah. Untuk asalan itu, maka personil lain yang tidak berkepentingan dengan gangguan tersebut yang sedang berdiri di atas tanah diperingatkan untuk menjauhi lokasi gangguan tanah tersebut.

Gambar 1.6 Tegangan Langkah

Hal ini berarti bahwa personil yang berdiri di dekat titik arus gangguan jika arus gangguan mengalir ke tanah akan menimbulkan beda potensial besar antara kaki ke kaki. Beda potensial tersebut akan semakin mengecil pada area yang semakin jauh dari titik gangguan.

Gambar 1.7 Besaran Tegangan Langkah

Gambar 1.8 Cara Menghindar dari Bahaya Tegangan Langkah

Tegangan Sentuh (*Touch Potential*)

Tegangan sentuh (*touch potential*) merupakan sumber masalah yang sama seperti tegangan langkah (*step potential*) – Lihat Gambar 1.9. tegangan sentuh menyangkut aliran arus gangguan (*fault current*) ke tanah yang disebabkan adanya perbedaan tegangan antara titik kontak ke tanah dan struktur konduktif yang berdekatan.

Gambar 1.9 Tegangan Sentuh

4. Cidera Akibat Sengatan Arus Listrik

Sering kita mengira, bahwa bahaya tersengat arus listrik hanya dapat disebabkan oleh sirkit tegangan tinggi.Anggapan ini tidak benar.Banyak kasus kecelakaan kerja tersengat arus listrik, yang berakibat fatal hingga sampai kematian diakibatkan oleh tegangan rendah 120 volt.Bila diantara kita pernah tersengat arus listrik tetapi aman-aman saja tidak mengalami akibat buruk, janganlah peristiwa tersebut dijadikan pegangan, mungkin anda sedang beruntung.Jangan mengandalkan keberuntungan di dalam bekerja. Ingat, selalu bekerja dengan kondisi aman dan mengutamakan keselamatan.

Fatal dan tidaknya cidera yang diakibatkan oleh sengatan arus listrik tergantung pada resistansi tubuh manusia terhadap aliran arus atau elektron. Besaran aliran arus merupakan jumlah elektron yang mengalir melalui tubuh manusia, yang diukur dalam satuan amper (A). Sengatan arus listrik akan terjadi, bila tubuh kita menjadi bagian atau elemen pasif dari suatu sirkit listrik. Sesuai konsep rangkaian listrik, ada tiga faktor yang dapat menyebabkan terjadinya sengatan arus listrik, yaitu resistansi, tegangan dan arus.

Akibat yang dapat ditimbulkan oleh sengatan arus listrik tergantung pada resistansi tubuh manusia dan besarnya nilai tegangan sentuh. Resistansi tubuh manusia berbeda-beda antara satu orang dengan orang lainnya. Semakin rendah resistansi tubuh manusia, semakin besar pula akibat yang dapat ditimbulkan oleh sengatan arus listrik.

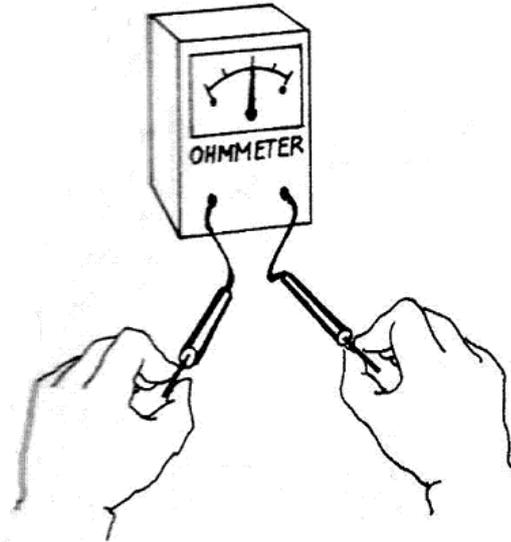
Resistansi tubuh manusia dapat dibedakan menjadi dua, yaitu eksternal dan internal. Resistansi eksternal dipengaruhi oleh kulit manusia dan resistansi internal dipengaruhi oleh jaringan tubuh dan sistem aliran darah. Kulit kering merupakan isolator listrik yang bagus. Kulit lembab, basah dapat menurunkan nilai resistansi tubuh, oleh karena itu intensitas tersengat arus listrik akan semakin besar bila tangan kita basah.

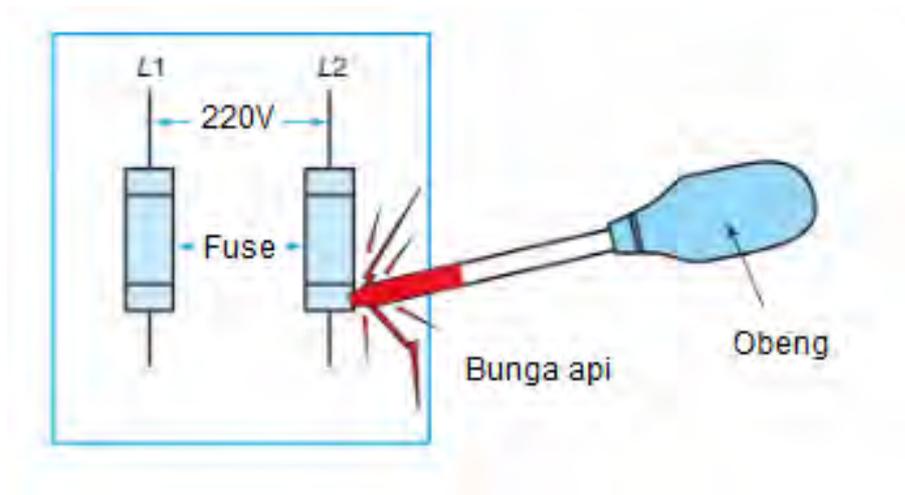
Resistansi internal akan semakin rendah bila kadar garam dan air di dalam darah semakin tinggi. Besaran nilai resistansi tubuh manusia memiliki rentang lebar, seperti diperlihatkan dalam Tabel 1.1. Untuk mengukur resistansi tubuh dapat digunakan alat ukur ohmmeter.

Tabel 1.1 Tipikal Resistansi Tubuh

Kondisi Tubuh	Nilai Resistansi (Ω)
Kulit Kering	100.000 – 600.000
Kulit Basah	1000

Antara Tangan ke Kaki	400 – 600
Antara telinga ke telinga	Sekitar 100

Gambar 1.9 memperlihatkan cara mengukur resistansi tubuh manusia, dari tangan ke tangan.

Gambar 1.10 Cara Mengukur Resistansi Tubuh dari Tangan ke Tangan

Jika seseorang personil sedang bekerja pada bagian panel listrik dengan menggunakan obeng harus bertindak secara ekstra hati-hati. Karena memungkinkan terjadi hal yang tidakdiinginkan misalnya elektroda obeng menempel ke kerangka panel yang terbuat dari logam, sedang ujung obeng menyentuh bagian yang bertegangan. Kejadian ini akan memicu timbulnya bunga api yang dapat menimbulkan hal-hal yang tidak diinginkan, seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.11.

Gambar 1.11 Elektroda obeng menyentuh rangka panel listrik

Jika resistansi rangkaian sangat kecil maka arus yang mengalir di dalam rangkaian tersebut menjadi sangat besar. Besaran nailai arus listrik yang mengalir melewati tubuh manusia sebesar 15 miliamper sudah dapat berakibat fatal bagi jiwa manusia. Bandingkan dengan besaran arus listrik yang mengalir pada sebuah lampu pijar 15 watt, yakni 68 miliamper.

Gambar 1.12 Elektroda obeng menyentuh rangka panel listrik

Berikut ini diberikan dampak sengatan arus listrik yang dilihat dari besarnya arus listrik yang mengalir dalam tubuh manusia. Arus listrik sebesar 1 miliamper membuat sensasi terhadap seseorang, arus sebesar 20 miliamper memungkinkanseseorang tidak dapat bergerak, arus sebesar 100 miliamper menyebakan terjadinya ventricuar fibrillation (jantung berdebar keras), dan arus lebih besar atau sama dengan 200 miliamper dapat menyebabkan tubuh terbakar dan *respiratory paralysis* (kehilangan cairan tubuh).

Risiko bahaya lainnya yang dapat diakibatkan oleh sengatan arus listrik terhadap manusia adalah reaksi tubuh ketika mengalami sengatan arus listrik. Sebagai contoh, bila seseorang personil pemeliharaan sedang bekerja menggunakan tangga dan tiba-tiba tanpa sengaja tersengat arus listrik, maka ia dapat terjatuh dari tangga. Bila ia sedang bekerja dengan peralatan tangan bermesin (*power tool*) dan tanpa disengaja mendapat sengatan arus listrik, ia terkejut dan melepaskan alat tangan tersebut dan mungkin dapat mencederai personil lain yang ada di sekitarnya. Para teknisi/mekanik harus menyadari sungguh-sungguh, bahwa reaksinya ketika mendapat sengatan listrik dapat membahayakan personil lain yang berada di sekitarnya. Oleh karena itu mereka harus terus waspada dan bertindak dengan ekstra hati-hati ketika bekerja dengan sumber listrik.

Gambar 1.13 Elektroda obeng menyentuh rangka panel listrik

Tabel 1.2 Pengaruh Kuat Arus Listrik

Kuat Arus Listrik	Pengaruh Terhadap Keselamatan
0 – 1 mA	Hampir tak terasa, mungkin sedikit kesemutan

2 – 15 mA	Berada dalam ambang kejang otot, dan nyeri otot
16 – 30 mA	Otot kejang, sesak nafas, tekanan darah naik, sebagian syaraf tak berfungsi
31 – 50 mA	Dapat membuat jantung berdebar kencang, sesak nafas atau badan menjadi lemas
51 – 500 mA	Membuat kejutan keras, bilik jantung bergetar, dan pingsan
> 500 mA	Membuat bilik jantung bergetar kuat hingga berhenti (*cardiac arrest*), dan meninggal.

Para teknisi harus meyadari betul akan bahaya yang dapat ditimbulkan oleh sengatan arus listrik ketika ia sedang bekerja dengan tangga yang terbuat dari bahan yang dapat menghantarkan arus listrik dengan bagus, misalnya aluminium. Bila memungkinkan hindari penggunaan tangga aluminium jika bekerja dengan sumber listrik.

Besaran kuat arus yang dapat mengalir melewati tubuh manusia tergantung pada nilai resistansi tubuh dan tegangan sentuh yang yang dialami oleh tubuh. Kuat arus yang mengalir ke tubuh dapat dihitung dengan formula sebagai berikut:

$$\text{Kuat Arus} = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Resistansi Tubuh}}$$

Dimana :

Kuat arus listrik diukur dalamsatuan ampere, Tegangan listrik dalam satuan volt, dan resistansi tubuh manusia diukur dalam satuan ohm (Ω).

Dalam banyak kasus, besaran kuat arus dan lamanya tubuh menerima arus listrik menjadi kriteria untuk menetapkan dampak buruk dari sengatan arus listrik.Arus listrik sebesar 10 miliamper mengalir beberapa detik mungkin dapat mengakibatkan ambang kejang, dan nyeri pada otot. Tetapi arus sebesar 100 miliamper yang mengalir melewati tubuh selama satu detik atau lebih lama, dapat mengakibatkan kematian, bila tidak cepat mendapat pertolongan.

5. Tanda Bahaya & Alat Pelindung Diri

Keselamatan kerja menjadi satu faktor penting di dalam lingkungan pekerjaan pada umumnya dan secara khusus pada pekerjaan instalasi dan pemeliharaan peralatan refrigerasi & tata Udara.Keselamatan di tempat kerja yang dimaksudkan dalam sesi ini mencakup dua hal keselamatan personil dan keselamatan alat.

Kita tahu bahwa peralatan refrigerasi & tata udaradapat beroperasi dengan bagus bila mendapatkan catu energi listrik dengan layak atau berkualitas.Kedua peralatan tersebut dapat beroperasi dengan aman, bila besaran tegangan listrik yang diterimanya selalu stabil. Adanya perubahan tegangan sebesar ± 15% dari tegangan nominal akan dapat membahayan kedua peralatan tersebut, paling tidak kedua peralatan tersebut tidak akan dapat bekerja dengan optimal.Oleh karena itu yakinkan sistem tegangan yang digunakan untuk peralatan tersebut dalamkeadaan prima, melalui serangkaian pemeriksaan sistem tegangan menggunakan alat ukur tegangan (akan dibahas lebih lanjut dalam Bab IV). Jadi secara umum, keselamatan peralatan listrik (termasuk peralatan refrigerasi & tata udara) tergantung pada dua hal, yaitu personil yang menangani operasi tersebut dan tingkat pencegahan kecelakaan yang diterapkanpada sistem kelistrikan yang digunakan, misalnya adanya piranti pengaman listrik yang tepat, adanya system pentanahan yang bagus, dan adanya prosedur operasional standard (POS).

Banyak hasil analisis statistika memberikan informasi kepada kita, bahwa 98% kecelakaan kerja yang terjadi, mestinya dapat dihindarkan, bila kita melakukan upaya keselamatan kerja dengan sebaik-baiknya. Dalam banyak kasus, kecelakaan kerja yang terjadi disebabkan oleh kesalahan manusia (*human error*) dan kerusakan peralatan yang digunakan.Dari statistik, dapat diketahui bahwa 88% kecelakaan kerja diakibatkan oleh kesalahan manusia dan 10% disebabkan oleh peralatan rusak.

Upaya untuk mencegah kecelakaan kerja mulai intensif dilakukan sejak tahun 1970, dengan diadakannya kongres tingkat dunia, yang dikenal dengan OSHA (*Occupation*

Safety and Health Administration).OSHA membuat peraturan atau regulasi standar yang mengatur keselamatan kerja di tempat kerja.Disamping itu, OSHA juga memiliki kewenangan untuk memeriksa dan memberi lisensi produk-produk alat keselamatan kerja.

Berikut ini diberikan standarisasi pemakaian warna, untuk menunjukkan tingkatan bahaya yang dapat ditimbulkan, yaitu:

(1) Warna Merah, boleh digunakan untuk menunjukkan hal-hal berikut: peralatan proteksi bahaya kebakaran, cairan mudah terbakar, tombol tekan untuk stop dan emergensi.
(2) Warna kuning, boleh digunakan untuk memberi tanda tempat sampah/limbah berbahaya, bahan mudah terbakar, alat yang sedang diperbaiki, tanda *start-up* peralatan, titik mulai dan sumber energi dari suatu mesin.
(3) Warna jingga, boleh digunakan untuk memberi tanda bagian mesin yang berbahaya, Tombol tekan pengaman, peralatan kopling mekanikal, seperti roda gigi, roda puli, dan piranti pemotong.
(4) Warna ungu, boleh digunakan untuk memberi tanda tempat yang memiliki radiasi berbahaya.
(5) Warna hijau, untuk memberi tanda daerah aman, dan tempat alat keselamatan kerja (personal safety).

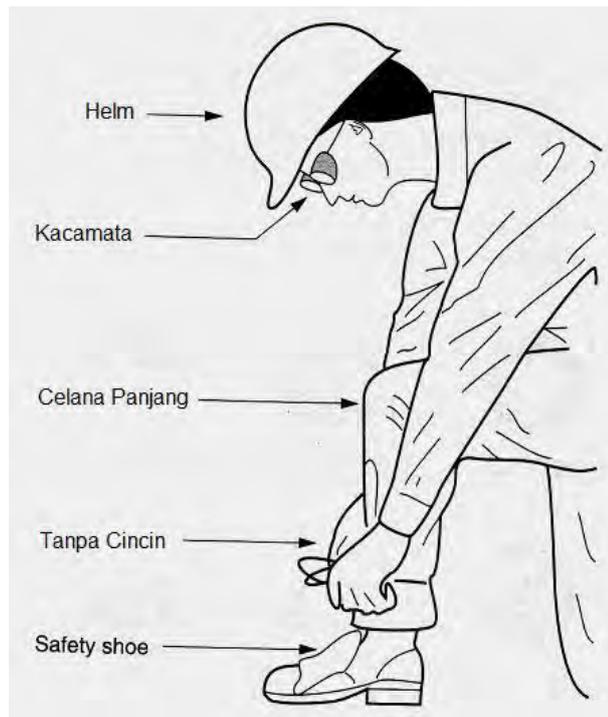
Gambar 1.6 memperlihatkan tanda-tanda pencegahan kecelakaan kerja atau petunjuk keselamatan kerja yang lazim digunakan.

Keselamatan Personal

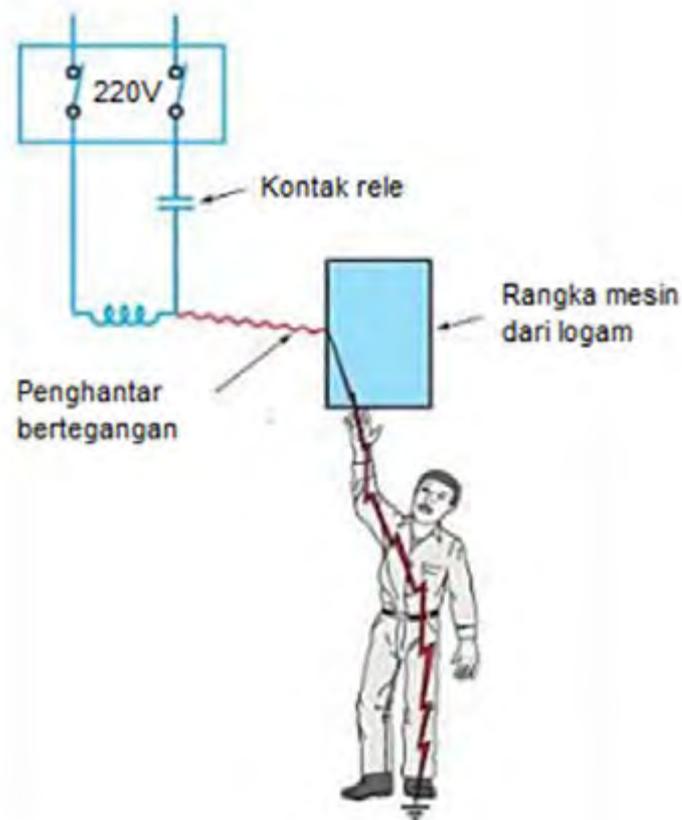
Pengalaman menunjukkan kepada kita, bahwa alat pelindung diri yang tidak bagus memiliki kontribusi terhadap kecelakaan kerja. Oleh karena itu peralatan pelindung diri termasuk salah satu regulasi keselamatan kerja yang harus dipatuhi oleh setiap pihak, yang melibatkan tenaga kerja.

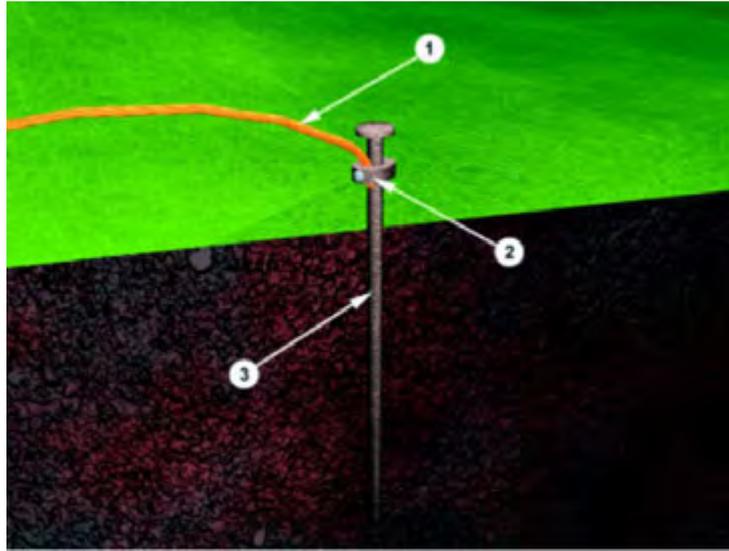
Gambar 1.14 Tanda Pencegahan Kecelakaan Kerja

Setiap pekerja, harus mengenakan alat pelindung diri untuk melindungi diri sendiri dengan peralatan standar. Gambar 1.15 memperlihatkan alat pelindung diri yang disarankan, dan untuk memastikan penggunaannya, berikut ini diberikan beberapa pertimbangan yang harus diperhatikan ketika akan menggunakan alat pelindung diri, yaitu:

(1) Pelindung kepala (*Safety helmet*), pelindung kaki (*safety shoes*), dan pelindung mata (*safety goggle*) harus dikenakan bila berada pada tempat yang telah diatur.
(2) Pelindung telinga (*safety earmuff*) harus dipakai bila berada pada lokasi dengan tingkat kebisingan tinggi.
(3) Pakaian kerja yang digunakan harus cukup ketat, tidak longgar dan harus terkancing.
(4) Perhiasan dari logam, emas, perak tidak digunakan ketika sedang bekerja di area listrik, sebab bahan-bahan tersebut merupakan penghantar yang baik.
(5) Tatanan rambut harus rapi, tidak dibiarkan panjang.

Gambar 1.15 Alat Pelindung Diri

6. Pentanahan Listrik

Kawat pentanahan listrik (*ground wire*) digunakan di dalam rangkaian kelistrikan untuk memudahkan arus listrik mengalir kembali ke tanah daripada mengalir melewati tubuh manusia yang memiliki resistansi lebih besar dbandingkan dengan resistansi kawat pentanahan. Sebagai contoh, bila konduktor yang bertegangan bersentuhan atau menempel ke rangka unit tata udara yang tidak dilengkapi dengan kawat pentanahan, dan kemudian seseorang tanpa sengaja menyentuh rangka tersebut. Maka ia akan menjadi bagian dari rangkaian listrik tersebut. Gambar 1.16 memperlihatkan fenomena tersebut.Dengan kata lain, ia akan merasakan sengatan arus listrik yang dapat berakibat fatal. Apalagi jika ia tanpa menggunakan alas kaki yang berisolasi dengan bagus.

Gambar 1.16 Tipikal Sengatan Arus Listrik melalui Tangan Korban

Kawat pentanahan yang dipasang pada suatu peralatan listrik akan berfungsi sebagai pengaman personil yang akan melindungi personil dari bahaya tersengat arus listrik. Kawat pentanahan dibuat sedemikian rupa sehingga nilai resistansi sangat rendah, biasanya di bawah 5 ohm.Bandingkan resistansi tubuh manusia yang berada dalam rentang ratusan ohm.Arus listrik cenderung mengalir dengan mudah ke bagian rangkaian listrik yang memiliki resistansi paling rendah. Dengan sifat sedemikian itu, maka keberadaan kawat pentanahan ini akan dapat melindungi personil dari bahaya sengatan arus listrik.

Gambar 1.17 Sistem Pentanahan dengan Elektroda Pentanahan

Dalam banyak kasus kawat pentanahan ini lazim berwarna hijau atau kuning hijau.Sebuah alat tangan bermesin yang dilengkapi dengan kawat pentanahan, maka ia akan dilengkapi dengan steker (*plug*) yang memiliki tiga kontak, yakni kontak untuk kabel fasa, kabel netral, dan kabel untuk pentanahan, seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.18. Gambar 1.18 b memperlihatkan sebuah alat tangan bermesin yang tidak dilengkapi dengan kawat pentanahan, ia hanya memiliki dua kontak penghantar.

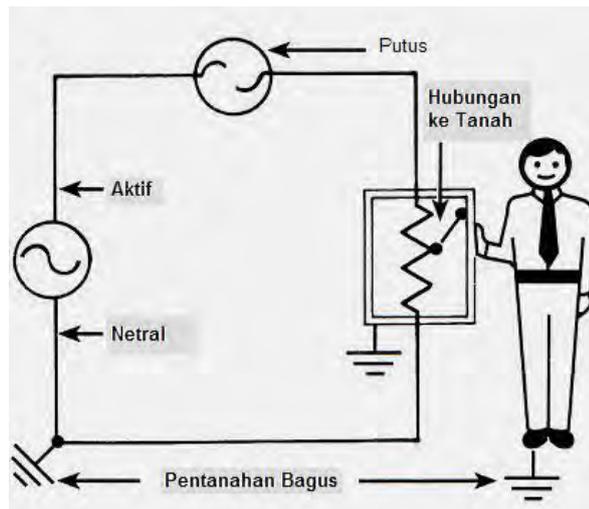
(a) **(b)**

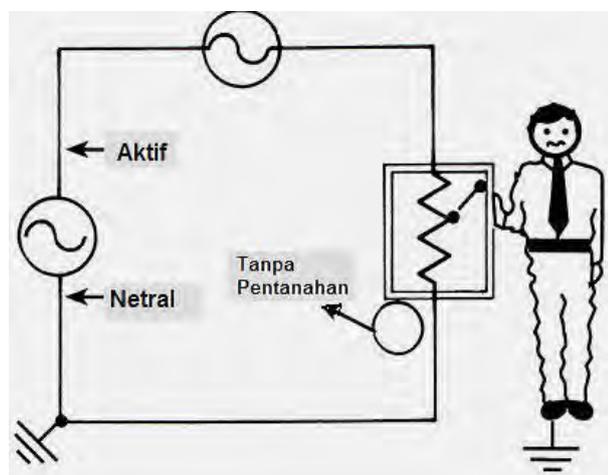
Gambar 1.18 Peralatan mesin yang dilengkapi dengan isolasi ganda

Kelistrikan berkaitan dengan sifat aliran arus listrik/elektron. Secara alamiah, sifat aliran arus listrik dalam penghantar atau konduktor listrik seperti aliran air yang berasal dari hulu (pegunungan) menuju ke hilir (lautan). Air yang berada pada tempat yang lebih tinggi selalu akan mengalir ke tempat yang lebih rendah. Air akan selalu mengalir menuju ke lautan. Demikian juga arus listrik, selalu akan mengalir menuju tempat yang memiliki potensial tegangan lebih rendah. Arus listrik akan selalu mengalir ke tanah (ground), karena tanah memiliki potensial tegangan yang paling rendah. Jadi bila kita berdiri di atas tanah dan menyentuh atau memegang penghantar listrik yang aktif, maka tubuh kita merupakan penghantar listrik yang memungkinkan arus listrik mengalir melewati tubuh dari tangan ke kaki dan akhirnya ke tanah.

Pentanahan atau *grounding* adalah salah satu bagian dari instalasi listrik, yang menghubungkan rangka mesin atau peralatan listrik ke tanah melalui suatu kabel penghantar menuju ke elektroda pentanahan. Dalam kondisi yang sederhana, elektroda pentanahan dapat berupa pipa galvanis dengan panjang satu hingga dua meter yang dibenamkan ke dalam tanah. Cara ini untuk mendapatkan nilai resistansi dari mesin ke tanah menjadi sangat rendah, biasanya kurang dari sepuluh ohm. Sistem pentanahan ini, bertujuan untuk melindungi personil yang sedang bekerja di suatu mesin atau peralatan listrik dari bahaya tersengat arus listrik.

Seperti diketahui, bahwa nilai resistansi tubuh manusia dapat mencapai ratusan ribu ohm. Sehingga bila seseorang memegang bagian mesin yang bertegangan, maka ia akan terlindungi dari sengatan arus listrik. Karena arus listrik akan mengalir melalui penghantar yang memiliki resistansi lebih rendah.

Bila resistansi pentanahan besar, maka personil tersebut masih akan mengalami sengatan listrik. Gambar 1.19 dan Gambar 1.20 memperlihatkan dua fenomena yang bertolak belakang akibat yang ditimbulkan oleh mesin dengan penta-nahan dan mesin tanpa pentanahan.

Gambar 1.19 Dengan Pentanahan, Operator Bebas dari Sengatan Arus Listrik

Untuk alasan keamanan, bagian badan mesin atau peralatan listrik lainnya harus dilengkapi dengan kabel pentanahan. Bila mesin tersebut mengalami gangguan kerusakan isolasi sehingga terjadi hubungan listrik ke badan mesin maka seorang operator atau personil lainnya yang kebetulan menyentuh mesin tersebut tidak akan mengalami sengatan arus listrik. Sebaliknya bila mesin tersebut tanpa pentanahan akan dapat membahayakan operator.

Gambar 1.20 Tanpa Pentanahan, Operator Terkena Sengatan Arus Listrik

Lembar Kerja 2:

Gambar 1.19 dan Gambar 1.20. memperlihatkan kondisi yang dapat menimbulkan bahaya tersengat arus listrik dan kondisi yang aman dari sengatan listrik. Diskusikan dengan teman sekelompokmu untuk menjawab pertanyaan mendasar yaitu Apa, bagaimana, dan mengapa terkait dengan perlindungan personil dari bahaya sengatan arus listrik. Untuk itu kalian harus mencari informasi-informasi yang terkait dengan masalah tersebut melalui membaca materi pelajaran dalam buku bahan ajar ini, dan melalui sumber-sumber informasi lain, yang dapat kalian peroleh dari buku sekolah elektronik, dari majalah ilmiah populer, atau dari situs-situs pendidikan lewat internet! Presentasikan hasil penemuanmu di kelas agar dapat dibahas dengan kelompok lain. Kemudian buatlah laporan pelaksanaan kegiatan secara indidu.

7. Pengaman Listrik

Rangkaian listrik dalam suatu struktur distribusi tenaga listrik didesain untuk dapat beroperasi pada level arus tertentu sesuai keperluan. Setiap rangkaian kelistrikan harus dilindungi atau mendapat proteksi, sesuai standard regulasi yang berlaku baik secara lokal, nasional, maupun internasional. Kabel atau konduktor setiap cabang rangkaian harus mendapat proteksi untuk mencegah mengalirnya arus yang lebih besar dari ukuran yang sudah ditetapkan. Komponen listrik yang digunakan juga merupakan konsideran yang harus diperhatikan ketika pengamanan menjadi pilihan utama. Standar kabel yang digunakan dalam instalasi listrik untuk keperluan domestik

Suatu tempat kerja yang menuntut tingkat keamanan yang tinggi terhadap resiko terkena sengatan arus listrik, misalnya laboratorium, ruang operasi dan lokasi pertambangan terbuka lazimnya sistem kelistrikannya dilengkai dengan alat pengaman hubungan tanah (*ground fault*). Piranti pengaman hubungan tanah tersebut lazim disebut sebagai *Ground Fault Circuit Breaker* (GFCI) atau *Earth Leak Circuit Breaker* (ELCB). Piranti pengaman tersebut akan membuka rangkaian listrik ketika mendeteksi ada kebocoran isolasi ke rangka mesin. Dengan dipasangnya piranti

tersebut dalam suatu sistem rangkaian kelistrikan, maka personil yang bekerja di lokasi tersebut mendapat jaminan keamanan terhadap bahaya sengatan arus listrik.

Disamping itu pada setiap sistem kelistrikan, lazimnya dipasang juga piranti pengaman beban lebih dan pengaman hubung singkat yang lazim disebut dengan *fuse* (zekering) atau *circuit breaker* (pemutus arus). Ada berbagai tipe zekering yang tersedia di pasaran, dengan disain khusus sesuai keperluan, tetapi maksud utama pemasangan zekering adalah untuk pengamanan sistem kelistrikan.zekering terbuat dari bahan konduktor dari logam campuran sebagai elemen proteksi yang memiliki titik leleh rendah tergantung dari ukuran zekeringnya. Bila zekering menerima arus lebih besar dibandingkan kemampuanhantar arus elemen proteksinya maka elemen proteksi akan meleleh dan membuka rangkaian kelistrikannya. Piranti pengaman lainnya adalah *circuit breaker* (pemutus arus). Pemutus arus (CB) berfungsi sebagai sakelar lampu yang dipasang di panel listrik. Bila arus yang mengalir melewati piranti pemutus arus tersebut melebihi kapasitas kemampuan hantar arusnya, maka piranti tersebut akan trip, sehingga membuka rangkaian kelistrikannya. Ukuran zekering dan pemutus yang akan dipasang dalam suatu rangkaian kelistrikan sebagai piranti pengaman harus ditentukan dengan cermat sesuai dengan regulasi yang berlaku secara nasional.

Seorang personil teknisi/mekanik tidak boleh sembarangan menetapkan ukuran zekering dan pemutus yang digunakan dalam suatu rangkaian kelistrikan tanpa mengikuti standard yang berlaku.Demikian pula kabel penghantar yang digunakan dalam suatu rangkaian kelistrikan tidak boleh sembarangan, tetapi harus mengikuti standard yang berlaku secara nasional.

8. Prosedur Lock Out

Rangkaian lock out merupakan prosedur standar yang digunakan untuk memutuskan catu daya listrik ke peralatan yang sedang dalam perawatan atau perbaikan. Ketika seorang teknisi/mekanik refrigerasi/tata udara akan bekerja di suatu peralatan listrik maka sebelum bekerja ia harus terlebih dahulu memutuskan sumber listrik yang

menuju ke peralatan tersebut. Dan untuk mencegah jangan sampai ada pihak lain yang menghubungkan kembali catu daya listrik ke peralatan yang sedang ia tangani maka teknisi tersebut harus mengunci (lock out) sakelar atau breaker yang berkaitan dengan peralatan tersebut dan memasang tanda peringatan (tag out) untuk mencegah orang lain menghubungkannya kembali.

Lock out atau *Tag out* adalah prosedur standar dalam pencegahan kecelakaan kerja. Prosedur ini bertujuan untuk melindungi personil yang sedang berkerja dari kecerobohan personil lainnya, misalnya tiba-tiba menghidupkan mesin yang sedang diperbaiki oleh personil lain. Disamping itu juga bertujuan untuk mencegah terjadinya kecelakaan atas pemakaian peralatan yang tidak aman.

Tag out, berkaitan dengan proses penguncian sumber tenaga listrik pada posisi off melalui tanda peringatan yang disajikan dalam bentuk kartu tanda peringatan bahaya. Kartu tanda bahaya (*Danger Tag*) ini lazimnya digantungkan pada peralatan tersebut. Label bahaya *atau Danger Tag*, adalah label berwarna merah, hitam dan putih yang dipasang oleh persnil yang sedang bekerja pada suatu alat untuk mencegah agar alat tersebut tidak dihidupkan.

Gambar 1.21 Danger Tag

Lock out merupakan tindakan pencegahan kecelakaan kerja yang dilakukan dengan mengunci total penyaluran energi listrik ke mesin yang sedang diperbaiki. Tujuan

lock out adalah mencegah seseorang yang tidak berkepentingan mencoba menghidupkan atau memberi energi listrik ke pada mesin yang sedang diperbaiki.

Prosedur *lock out* harus dilaksanakan ketika sedang melakukan pekerjaan pelacakan gangguan, reparasi, pengaturan ulang, pembersihan, dan pekerjaan pemeliharaan lainnya. *Lock out* biasanya dilakukan dengan mengunci pintu panel daya dengan menggunakan kunci khusus sehingga tidak mudah dibuka oleh sembarang orang (Gambar 1.22).

Gambar 1.22 *Lock Out*

Bila bekerja dalam situasi di mana ada banyak personil yang dapat menghubungkan atau memutuskan suatu sakelar atau piranti pemutus ke suatu peralatan yang ada di dalam struktur kelistrikan, maka sebelum bekerja pastikan catu energi listrik sudah diputuskan dari rangkaian listrik. Begitu rangkaian kelistrikannya sudah dalam kodisi terbuka, beri tanda peringtan untuk mencegah orang lain menghubungkan kembali energi listrik ke peralatan yang sedang berada dalam perbaikan. Di dunia industri, hal ini lazim dilakukan dengan menggunakan *Tag out* yang berfungsi sebagai kartu peringatan, *pad lock* atau piranti pengunci dll, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 1.21.

Gambar 1.23 Berbagai bentuk Piranti Untuk keperluan Lock out dan Tag out.

9. Petunjuk Keselamatam & P3K

Dengan memperhatikan dan mengikuti prosedur operasional standar yang berlaku, maka kecelakaan akibat tersengat arus listrik dapat dihindarkan, walaupun kita harus bekerja di daerah yang bertegangan tinggi sekalipun. Terjadinya sengatan arus listrik, menandakan bahwa peralatan tersebut tidak ditangani dengan baik. Berikut ini diberikan Petunjuk praktis keselamatan kerja, menghindari bahaya sengatan arus listrik, yaitu:

(1) Dalam melakukan instalasi peralatan listrik, selalu mengikuti prosedur standar yang berlaku baik secara lokal maupun nasional.

(2) Pastikan catu daya listrik sudah diputuskan melalui panel distribusi atau panel kontrol yang ada.

(3) Pastikan kondisi peralatan apakah masih bertegangan atau tidak bertegangan.

(4) Bila bekerja di tempat yang basah pastikan sudah memakai alat pelindung diri yang layak dan aman.

(5) Pastikan tubuh kita tidak menjadi bagian dari rangkaian listrik, sehingga terkena sengatan arus listrik.

(6) Gunakan selalu peralatan tangan bermesin yang dilengkapi dengan kawat pentanahan.

(7) Jangan memakai cincin, arloji, atau perhiasan lainnya ketika sedang bekerja dengan sumber listrik.

(8) Jangan menggunakan tangga aluminium jika bekerja di dekat rangkaian listrik yang aktif.

(9) Gunakan sepatu yang dilengkapi dengan insulation sole & Heel.

(10) Pastikan peralatan yang akan digunakan dalam kondisi prima.

Untuk menjamin keselamatan kerja di area bertegangan listrik, ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan, yaitu:

- tidak menyentuh sesuatu yang tidak kita inginkan.
- menjauhkan atau memindahkan peralatan lain, hingga tiga meter dari jala-jala tegangan tinggi.
- tidak menutup kontak (mengaktifkan) sakelar yang tidak kita ketahui fungsinya.
- sedapat mungkin hindari bekerja pada sirkit yang masih bertegangan.
- tidak menyentuh obyek pentanahan ketika sedang bekerja pada suatu peralatan listrik.
- memastikan nilai besaran tegangan yang ada pada peralatan listrik yang sedang diperbaiki. Karena pada beberapa masin memiliki banyak variasi tegangan, misalnya 24 VDC, 120 VAC, dan 440 VAC.
- tidak menyentuh mesin atau peralatan listrik yang sedang bekerja.
- memastikan seluruh sambungan atau koneksi listrik dalam kondisi kokoh dan kuat, karena dalam banyak kasus hal ini dapat memicu terjadinya kebakaran akibat listrik.
- bila bekerja pada peralatan yang bertegangan di atas 30 volt, hanya menggunakan satu tangan, dan menjauhkan satu tangan lainnya agar bahaya sengatan arus listrik melalui pundak dapat dihindari.

- Mengosongkan atau membuang muatan listrik pada kapasitor sebelum kapasitor tersebut dibuka atau dilepas.

Pada peristiwa kecelakaan terkena aliran listrik, biasanya penderita terjatuh setelah aliran listrik putus. Jika tempat kejadian itu membahayakan, misalnya di atas tiang, atap yang landai, atau kuda-kuda bangunan, sering orang mengalami kecelakaan yang lebih berat. Dalam hal ini pertolongan pertama pada kecelakaan yang dilakukan oleh seorang ahli atau pembantu dokter, tidak dimaksudkan untuk mengambil alih tugas dokter melainkan semata-mata merupakan pertolongan darurat sampai dokter datang. Untuk membantu korban tersengat listrik, tindakan pertama yang harus dilakukan adalah melepaskan korban dari kontak terhadap alat yang bertegangan listrik. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan tongkat yang terbuat dari bahan isolator, misalnya kayu atau plastik. Jangan menyentuh korban, hingga korban sudah terbebas dari tegangan listrik.

Cara membebaskan pendetita dari aliran listrik

Untuk memutuskan hubungan antara penderita dan penghantar, dilakukan cara seperti berikut:

- sedapat mungkin penghantar harus dibuat bebas tegangan dengan jalan memutuskan sakelar atau melepaskan gawai pengaman. Atau penghantar ditarik sampai terlepas dari penderita dengan ,menggunakan benda kering bukan logam, misalnya sepotong kayu atau seutas tali yang diikatkan pada penghantar;
- penderita ditarik dari tempat kecelakaan;
- penghantar dilepaskan dari tubuh penderita dengan tangan yang dibungkus dengan pakaian kering yang dilipat-lipat;
- Penghantar dihubung singkat atau dibumikan.
- Penolong harus mengamankan diri dahulu untuk menghindarkan atau mengurangi pengaruh arus listrik. Ia harus menempatkan diri pada papan yang kering, kain kering, pakaian kering atau alas serupa itu yang bukan terbuat dari logam (kayu, karet). Jika hal itu tidak mungkin, kedua tangan

penolong dibalut dengan kain kering, pakaian kering atau bahan kering serupa itu (kertas, karet). Pada saat memberikan pertolongan, penolong harus menjaga diri agar tubuhnya jangan bersentuhan dengan benda logam.

- Pertolongan pertama pada kecelakaan atau P3K adalah tindakan sesegara mungkin yang harus diberikan kepada korban kecelakaan atau korban sakit. Tindakan ini dilakukan untuk memberi bantuan kehidupan, memulihkan kondisi korban, dan mencegah si korban mengalami hal yang lebih buruk.

Untuk keperluan ini, maka diperlukan tersedianya kotak P3K yang mudah dijangkau. Isi kotak P3K antara lain gunting, pengompres dingin, pengompres panas, cairan antiseptik, perban, plester, kain pembalut, penyangga siku tangan, kapas, dll.

Berikut ini diuraikan beberapa tindakan pertolongan pertama yang dapat dilakukan terhadap korban kecelakaan, yaitu:

Pertolongan pertama pada penderita luka

Luka tidak boleh disentuh dengan tangan. Basuhlah luka dengan air dan obat antiseptik bila luka tampak kotor. Tutuplah segera luka dengan pembalut luka yang steril dan kering, jangan membalut luka dengan bahan kain lain seperti saputangan, kain bekas, atau pita. Apabila bahan yang steril tidak tersedia, lebih baik luka dibiarkan terbuka.

Pembalut luka hanya dapat manahan luka yang dangkal. Pada waktu membalut luka, usahakan agar bagian badan yang terluka diangkat ke atas. Apabila luka sangat dalam dan banyak mengeluarkan darah, cegahlah pendarahan seperti itu dengan cara sbb.

Pendarahan Arteri

Pendarahan arteri dapat diketahui karena darah memancar dari luka. Cobalah menghentikannya dengan membalut luka kuat-kuat dengan pembalut steril. Jika dengan cara itu tidak berhasil,

Tekuklah bagian badan yang terluka itu pada sendinya, misalnya pada lutut, siku atau sendi paha, sampai batas maksimum, kemudian sementara ditekuk, tepat di atas luka ikatlah bagian badan itu dengan pita kain atau sabuk. Jika masih belum juga berhasil, gunakan torniquet. Jika torniquet tidak ada, himpitlah arteri tersebut dengan kedua ibu jari yang diletakan sejajar pada tempat tersebut.

Gambar 1.24 Kecelakaan dapat Terjadi di Tempat Kerja

Luka pada mata

Tutuplah kedua mata dengan kasa steril meskipun Cuma satu mata yang terluka. Jika luka disebabkan oleh bahan kimia seperti soda, asam keras, amonia, cucilah mata dengan air bersih. Gunakan ibu jari telunjuk untuk membuka mata selebar-lebarnya.

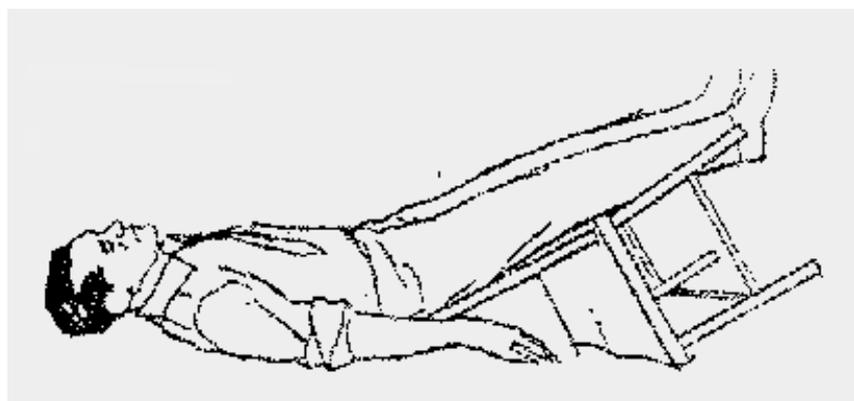
Luka Bakar

Jika pakaian dari orang yang bersangkutan masih terbakar, cegahlah orang tersebut berlari-lari. Gunakan selimut basah untuk menutupi atau mematikan api yang masih

menyala, atau dengan menggulingkan badan orang tersebut ke tanah. Bekas-bekas pakaian terbakar yang masih menempel pada badan tidak boleh dihilangkan. Kulit yang melembung tidak boleh disudat.

Balutlah luka bakar dengan pembalut khusus untuk luka bakar (konsteril) dan balut longgar. Cegah penggunaan tepung, minyak atau salep untuk luka bakar. Apabila luka bakar sangat luas tidak boleh dipakai pembalut sama sekali. Usahakan melindungi penderita luka bakar`dari kedinginan dengan menyelimutinya dan menjaga agar selimut tidak kena luka bakar. Bila penderita mengalami trauma (*shock)*, baringkan korban dengan kepala lebih rendah dan segera kirim ke rumah sakit.

Untuk luka bakar ringan, masukkan bagian yang terkena luka bakar ke dalam air dingin, atau gunakan kompres dingin untuk mengurangi rasa sakit. Jangan memecahkan bagian yang melepuh. Untuk luka bakar parah atau stadium tiga, jangan gunakan air karena akan dapat menimbulkan infeksi.

Menangani luka bakar parah seperti ini harus oleh personil terlatih, hanya gunakan pembalut bersih untuk menutupi lukanya, jangan lepas pakaian yang dikenakan oleh korban kecuali anda memang sudah terlatih untuk melakukannya. Tindakan yang terbaik adalah segera mendapatkan pertolongan dari personil paramedik. Bila hanya kaki dan tangan yang terkena luka bakar, maka bagian yang luka harus diangkat ke posisi lebih tinggi dari letak jantung.

Gambar 1.25 Cara Membaringkan Korban

Luka Bakar karena Bahan Kimia

Apabila luka bakar di bagian luar, maka buka pakaian penderita dan segera siram dengan air bersih yang banyak untuk melarutkan bahan-bahan kimia tersebut. Apabila luka bakar dalam, misalnya penderita telah terminum asam keras, segera penderita diberi minum air atau air teh dan secepatnya bawa ke rumah sakit.

Dalam keadaan pendarahan di dalam badan (dari paru-paru atau perut) baringkan penderita dan jaga agar penderita tetap tenang. Hanya dokter yang dapat menolong atau kirim segera ke rumah sakit. Apabila luka di dalam badan akibat pukulan yang keras pada perut atau kepala, biasanya penderita merasa mual dan muntah, penderita tidak boleh diberi minum atau makan. Kirimkan penderita segera ke rumah sakit dengan mengusahakan agar penderita selalu diam dalam keadaan berbaring.

Patah Tulang

Bila penderita mengalami patah tulang atau diduga mengalami patah tulang, maka usahakan penderita jangan banyak bergerak. Balutlah bagian yang patah atau diduga patah dengan bidai (*splint*). Untuk lengan yang patah cukup dipakai satu papan bidai, jika kaki yang mengalami patah diperlukan dua atau tiga papan bidai. Sebagai pembalut dapat digunakan pita, kain atau tali yang lunak. Balutlah bidai di beberapa tempat sehingga sendi yang berhubungan dengan bagian badan yang patah tak dapat bergerak. Apabila bidai yang khusus tulang patah tidak ada, lengan yang patah untuk sementara dibandut pada dada (ditekuk pada sisi) atau digantung dengan kain segitiga; tungkai kaki yang patah dibandut dengan papan atau tongkat.

Keracunan Gas

Usahakan agar penderita keracunan gas mendapat udara yang bersih. Bawalah dia ke luar atau bukaan jendela lebar-lebar. Gas yang berbahaya ada dua macam. Yaitu:
(1) Gas yang tidak merusak paru-paru, misalnya gas yang meracuni darah dan syaraf, narkotika, karbon dioksida, asam sianida, eter, kloroform, uap bensin atau benzol. Bukalah baju penderita, dan jangan sekali-kali memberi minum pada penderita yang pingsan. Gosoklah tangan dan kakinya dengan tangan. Apabila pernafasan berhenti, usahakan pernafasan buatan, kalau dapat dengan alat penghisap oksigen.

(2) Gas yang merusak paru-paru, misalnya klor fosgen, gas nitro, dan sulfur dioksida. Bukalah baju penderita, kemudian jauhkan dia dari baju yang penuh mengandung gas. Usahakan agar penderita tenang dan berbaring terlentang, jangan diperbolehkan untuk berjalan.Apabila penderita sudah sadar, berilah sedikit air kopi atau air teh panas. Dalam hal ini tidak boleh diberi pernafasan buatan.

Pernafasan Buatan

Langkah Pertama:

(a) Miringkan Kepala, Keluarkan benda yang ada di dalam mulut, Angkat Dagu

Langkah Kedua:

(b) Jepit lubang hidung dengan jari

Langkah Ketiga:

(c) Hembuskan nafas buatan melalui mulut, usahakan jangan sampai ada celah yang memungkinkan udara keluar

Langkah Keempat

(d) Perhatikan, pergerakan dada naik-turun, ulangi pemeberian nafas buatan 12 - 18 kali setiap menit

Gambar 1.26 Cara Memberikan Pernafasan Buatan

Korban kecelakaan akibat tersengat arus listrik dapat menghentikan nafas korban sehingga pingsan karena kaget. Berikut langkah-langkah yang dapat

ditempuh untuk memberikan pertolongan kepada penderita, yakni (1) menyadarkan kembali korban, (2) segera cari pertolongan, (3) periksa reaksi, goyang dengan pelan dan teriak dengan keras, bila tidak ada reaksi, maka lakukan pertolongan dengan memberikan pernafasan buatan.

Bila korban tidak bernafas, upayakan melakukan pernafasan buatan. Cara paling efektif untuk melakukan pernafasan buatan adalah cara dari mulut ke mulut. (Gambar 1.26). Tetapi ingat, yang boleh melakukan pernafasan buatan dari mulut ke mulut tidak boleh sembarang orang tetapi harus personil yang sudah terlatih dan berpengalaman

Ringkasan

Energi listrik tidak dapat dilihat tetapi dapat dirasakan. Hanya membutuhkan aliran elektron dalam jumlah relatif kecil yang dapat mengakibatkan cidera serius hingga ke kematian. Hal ini mengharuskan setiap teknisi/mekanik menaruh respek dan selalu waspada jika bekerja di lingkungan yang mengandung energi listrik. Menjaga keselamatan lebih penting dari kecepatan keja. Untuk itu setiap memulai kerja harus menggunakan alat pelindung diri yang memadai, jangan menggunakan perhiasan dari logam, jangan menggunakan tangga dari logam, dan memastikan sistem kelistrikannya sudah memiliki sistem pentanahan yang memadai.

Ketika menghadapi korban kecelakaan akibat arus listrik, sebelum melakukan pertolongan pastikan energi listrik sudah diputuskan. Bila ragu-ragu, keputusan yang paling bijak adalah memanggil personil yang sudah kompeten dalam memberi pertolongan pada kecelakaan kerja.

Permasalahan

1. Mungkinkah bagi seorang teknisi/mekanik memperbaiki peralatan refrigerasi tanpa menggunakan sumber tegangan listrik?
2. Apakah maksud rangkaian listrik aktif?

3. Tegangan manakah yang sering diterapkan pada peralatan refrigerasi dan tata udara? A. 24 V, B. 127 V, C. 220 V, dan D. 380 V
4. Bagaimana sengatan listrik dapat menimpa seseorang pekerja?
5. Mengapa penggunaan tangga aluminium perlu dihindari jika bekerja pada rangkaian listrik?
6. Bagaimana lintasan arus listrik yang dapat memasuki tubuh manusia?
7. Jelaskan fungsi kawat pentanahan!
8. Berapa kira-kira tahanan tubuh manusia?
9. Bagimana mencegah agar tidak terkena sengatan arus listrik?
10. Bagaimana menolong korban tersengat arus listrik?

B. Kegiatan Belajar 2

Menafsirkan Gambar Sistem Kelistrikan Sistem Refrigerasi Domestik

1. Pendahuluan

Dengan semakin kompleknya sistem refrigerasi dan tata udara dewasa ini, para teknisi/mekanik harus mampu membaca dan menginterprestasi seluruh jenis diagram listrik. Diagram listrik memuat informasi berharga tentang instalasi listrik dan operasi peralatan listrik. Para mekanik yang memasang suatu peralatan listrik misalnya peralatan tata udara sangat tergantung pada diagram pengawatan yang dikeluarkan oleh pabrikannya agar dia dapat memasang peralatan tersebut dengan

semestinya. Para teknisi menggunakan diagram listrik sebagai acuan atau rujukan untuk melakukan pelacakan gangguan sistem kelistrikan dari suatu unit peralatan listrik. Ada tiga jenis diagram yang lazim digunakan di industri, yaitu diagram skematik, diagram ladder, dan diagram pengawatan atau diagram koneksi. Dalam dunia refrigerasi dan tata udara, diagram listrik yang sering digunakan juga bervariasi tergantung pabrikan pembuatnya.

.

2. Simbol Komponen Listrik

Satu hal yang tidak mungkin dalam membangun diagram listrik adalah, memuat seluruh komponen yang digunakan pada suatu unit peralatan refrigerasi dan tata udara di dalam diagram listrik, karena akan terlalu memakan tempat dan menjadi terlalu rumit bila disertai dengan cara penyambungan antar komponen. Oleh karena itu, mengapa diagram listrik menggunakan simbol-simbol untuk merepresentasikan komponen-komponen listrik yang digunakan pada suatu unit peralatan refrigerasi dan tata udara.

Komponen listrik yang digunakan pada system refrigerasi dan tata udara dapat dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu (1) beban listrik, (2) sensor, yang terdiri dari piranti kontrol, dan piranti pengaman atau proteksi. Beban listrik yang digunakan pada peralatan refrigerasi dan tata udara dapat dibedakan menjadi dua, yaitu beban listrik yang digunakan sebagai penggerak dan beban listrik yang digunakan untuk keperluan lainnya.Beban listrik yang digunakan sebagai penggerak dibedakan menjadi dua, yaitu yang menghasilkan gerakan rotari dan yang menghasilkan gerakan translasi.Beban listrik yang menghasilkan gerakan rotari lazim disebut sebagai motor.Bila tenaga penggeraknya energi listrik disebut motor listrik.Beban listrik yang menghasilkan gerakan translasi adalah koil solenoid.Dan beban listrik untuk keperluan lainnya adalah elemen pemanas (*heater*) dan lampu.

Para teknisi/mekanik harus mampu mengidentifikasi sebagian besar simbol yang digunakan dan mengetahui di mana melihat posisinya dalam suatu peralatan listrik. Sebagian besar pabrikan menggunakan simbol-simbol yang sama pada diagram listrik yang digunakannya, walaupun begitu sering dijumpai masih adanya beberapa

perbedaan yang bersifat minor. Jadi pemahaman dasar tentang simbol dasar kelistrikan merupakan hal yang paling penting bila ingin berhasil di dunia industri.

Kita mulai pembelajaran kita dengan diskusi berbagai jenis beban listrik yang digunakan di dunia refrigerasi dan tata udara dan simbol dasar yang digunakan oleh setiap komponen. Selanjutnya akan didiskusikan pula berbagai piranti kontrol otomatik dan piranti pengaman

Lembar Kerja 1: Standarisasi Diagram Listrik

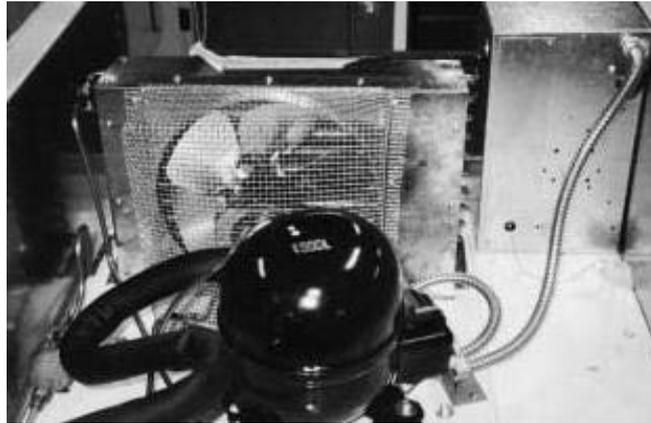
Begitu pentingkah standarisasi gambar atau diagram listrik? Untuk menambah wawasanmu, lakukan pengamatan pada berbagai peralatan rumah tangga dan industri yang terkait dengan *industrial electrical diagram*. Catat diagram listrik yang menyertai peralatan tersebut. Diskusikan dengan teman sekelompokmu. Coba gali gagasan kreatif kalian, dan kemukakan pendapat kalian. Jika mengalami kesulitan, kalian dapat mencari informasi dari sumber-sumber informasi lain, seperti buku teks, majalah atau di internet! Presentasi hasilnya di depan kelas. Dalam paparan jelaskan mengapa kita perlu membuat standarisasi diagram listrik!

Unit refrigerasi dan tata udara menggunakan motor listrik untuk mengoperasikan kompresor, fan kondensor, fan evaporator, dan defrost timer. Unit refrigerasi menggunakan berbagai jenis rele dan kontaktor untuk membangun sistem kontrol.Unit refrigerasi dan tata udara menggunakan elemen pemanas (*heater*) untuk keperluan pencairan bunga es di evaporator, dan menggunakan lampu untuk penerangan dan sebagai tanda. Yang masuk dalam kategori sensor adalah berbagai sakelar otomatik seperti *room thermostat, pressure switch,* rele beban lebih (*overload protector), defrost terminator thermostat*, dll.

3. Motor Listrik

Beban listrik merupakan bagian paling penting dari suatu sistem refrigerasi dan tata udara karena komponen tersebut melakukan berbagai tugas aktuasi di dalam sistem

tersebut. Motor listrik mengoperasikan kompresor refrigerasi, menaikkan tekanan dan mensirkulasi refrigerant setiap saat. Gambar 2.1 memperlihatkan tipikal kompresor hermetik yang lazim digunakan pada unit tata udara. Motor listrik yang digunakan untuk menggerakkan kompresor kapasitas di bawah 2,5 HP adalah motor satu fasa dengan tipe motor capasitor start dan capasitor run. Untuk kompresor di atas 5 HP biasanya menggunakan motor 3 fasa. (pembahasan motor listrik yang kebih rinci akan dibahas di bab VIII. Gambar 2.2 memperlihatkan tipikal motor fan kondensor. Motor listrik yang digunakan untuk mengoperasikan fan kondensor berskala kecil, biasanya digunakan tipe motor split kapasitor. Untuk fan berkapasitas besar digunakan motor 3 fasa.

Gambar 2.1 Kompresor refrigerasi tipe hermetic

Gambar 2.2 Motor Fan Kondensor

Gambar 2.3 memperlihatkan tipikal motor fan evaporator. Motor listrik yang digunakan untuk mengoperasikan fan evaporator, tipe motor split kapasitor.

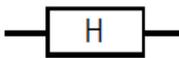
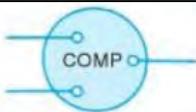
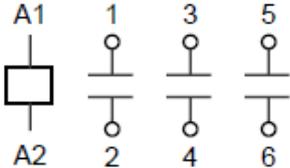
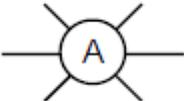
Gambar 2.3 Motor Fan Evaporator

Beban listrik yang menghasilkan gerakan translasi adalah solenoid.Solenoid lazim digunakan pada rele dan katub.Solenoid mengoperasikan rele, membuka dan menutup kontak rele.

Para teknisi/mekanik harus mampu mengenali berbagai simbol standar yang dikeluarkan oleh berbagai pabrikan, agar pekerjaannya dapat optimal.

Beban listrik untuk keperluan lainnya antara lain heater atau elemen pemanas listrik. Pada peralatan refrigerasi dibedakan dua jenis heater, yaitu deforst heater dan mullion heater. Defrost heater diletakkan di evaporator, digunakan untuk mencairkan bunga es yang timbul di permukaan evaporator, sedang mullion heater diletakkan di sekeliling pintu refrigerator/freezer untuk mencegah agar rangka alat tidak berembun. Beban listrik lainnya adalah lampu penerangan, dan lampu tanda.Tabel 2.1 memperlihatkan berbagai simbol beban listrik.

Tabel 2.1 Daftar Simbol Listrik untuk berbagai jenis beban listrik

Nama	Simbol	Nama	Simbol
Motor AC 1 fasa		Elemen Pemanas (defrost heater)	H
Motor AC 1 fasa untuk fan condenser	CFM	Motor AC 1 fasa untuk fan evaporator	EFM
Motor AC 1 fasa untuk kompresor	COMP	Buzzer	
Motor AC 3 fasa		Alarm	
Solenoid rele	A1 1 3 5 A2 2 4 6	Pilot lamp	A

Gambar 2.4 Tipikal Defrost Heater yang terpasang di Evaporator

Disamping menggunakan simbol-simbol standar, beberapa pabrikan refrigerasi dan tata udara seringkali melengkapi diagram listrik dengan singkatan-singkatan untuk memudahkan pembacanya memahami diagram yang disajikannnya.Tabel 2.2 memperlihatkan beberapa singkatan yang lazim digunakan di indutri refrigerasi dan tata udara.

Tabel 2.2 Singkatan beban listrik dan piranti kontrol

Nama Komponen	Singkatan
Capasitor	CAP
Compressor	COMP
Compressor relay	CR
Fan Cycle Switch	FCS
Freeze Guard Thermostat	FGT
Fan Motor	FM
Ground	GND
Heater relay	HR
Heater	HTR
Indoor Frost Thermostat	IFT
Indoor Thermostat	IT
Outdoor Frost Thermostat	OFT
Overload	OL

4. Rele & Kontaktor

Pada hakekatnya konstruksi rele dan kontaktor sama, yakni terdiri dari sebuah koil solenoid dan beberapa pasang kontak listrik. Tetapi dilihat dari penggunaannya berbeda. Rele sering digunakan untuk keperluan fungsi kontrol dan regulasi, sedang kontaktor lazim digunakan untuk keperluan fungsi power switching. Rele digunakan secara luas dalam sistem kontrol tidak langsung untuk mengoprasikan motor, katub, magnetic clutch, dan elemen pemanas (*heater*).Gambar 2.5 memperlihatkan berbagai contoh rele standar industri.

Gambar 2.5 Konstruksi berbagai Rele

Tipikal standar rele yang dikeluarkan oleh berbagai pabrikan, biasanya dapat dibedakan dari jumlah kutub (kontak), status kontak, kemampuan arus dan tegangan kerja koil solenoidnya.Dilihat dari jumlah kutub (kontak), dibedakan rele dengan 4 kutub, 5 kutub, dan 8 kutub.Konfigurasi kontaknya sebagai berikut, untuk rele 4 kutub alternatif tata susun kontaknya adalah 4 NO, 3NO+1NC, 2NO+2NC.Untuk rele dengan 5 kutub tata susun kontaknya adalah 5 NO, 4NO+1NC, 3NO+2NC, 2NO+3NC, 1NO+4NC, dan 5 NC.Untuk rele dengan 8 kutub, tata susun kontaknya adalah 8N), 7NO+1NC, 6NO+2NC, 5NO+3NC, dan 4NO+4NC.

Tegangan operasi standar untuk koil solenoid rele pada umumnya menggunakan sumber arus bolak-balik 50 Hz-60Hz, dengan nilai tegangan sebagai berikut, 100 V – 110V, 200V – 220V, 380V – 400V, dan 400V – 440V.

Kisaran arus operasional rele atau lazim disebut sebagai arus nominal rele yang dapat ditahan oleh kontak rele bervariasi tergantung pada tegangan kerja yang diterima oleh kontaknya.Pada tegangan kontak 110VAC maka arus nominalnya adalah 6A, pada tegangan 220VAC, arus nominalnya 3A, pada tegangan 440VAC, arus nominalnya 1,5A, dan pada tegangan 550VAC arus nominalnya 1,2A.

Kisaran arus nominal yang mampu ditahan oleh kontak rele pada penggunaan dengan sumber daya arus searah (DC) adalah, pada tegangan kerja 24VDC, arus nominalnya adalah 3A, pada tegangan 48VDC, arus nominalnya 1,5A, pada tegangan 110VDC, arus nominalnya 0,55A, dan pada tegangan 220VDC, arus nominal rele 0,27A. Ketahanan kontak melakukan operasi pemutusan beban pada arus nominal berkisar 500.000 operasi, atau berkisar 1800 kali operasi setiap jam.

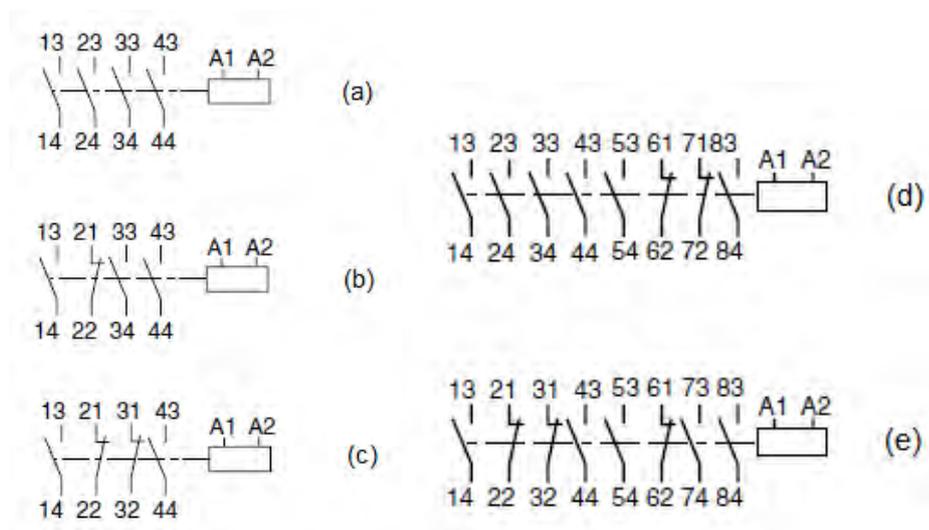
Untuk memudahkan mengidentifikasi kontak rele, biasanya dibuat pengkodean dengan menggunakan sistem numerikal. Pada setiap pasang kontak dikodekan dengan menggunakan dua digit angka, dengan aturan sebagai berikut:

Kasus (a): sebuah rele memiliki kontak 4NO. Pengkodean nomor kontak dilakukan sebagai berikut untuk pasangan kontak pertama 13 – 14, untuk pasangan kontak kedua 23 -24, untuk pasangan konak ketiga 33 – 34, untuk pasangan kontak keempat 43 – 44, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.6 a.

Kasus (b): sebuah rele memiliki kontak 3NO+1NC, pasangan kontak pertama (NO) maka kodenya 13 – 14, untuk pasangan kontak kedua (NC) 21 – 22, untuk pasangan kontak ketiga (NO) 33 – 34, dan untuk pasangan kontak kempa (NO) 43 – 44, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.6.b

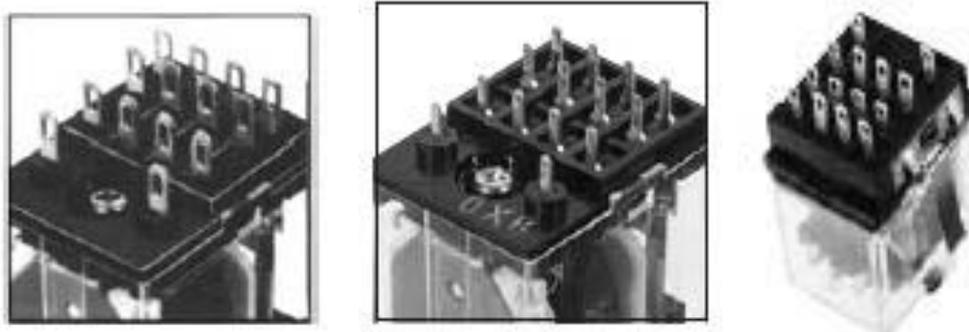
Kasus (c): sebuah rele memiliki kontak 2NO+2NC, pasangan kontak pertama (NO) maka kodenya 13 – 14, untuk pasangan kontak kedua (NC) 21 – 22, untuk pasangan kontak ketiga (NC) 31 – 32, dan untuk pasangan kontak kempa (NO) 43 – 44, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.6.c

Kasus (d): sebuah rele memiliki delapan pasang kontak terdiri dari enam pasang kontak (NO) dan dua pasang kontak (NC), maka pengkodeannya diperlihatkan dalam Gambar 2.6.d.

Kasus (e): sebuah rele memiliki delapan pasang kontak terdiri dari lima pasang kontak (NO) dan tiga pasang kontak (NC), maka pengkodeannya diperlihatkan dalam Gambar 2.6.e.

Gambar 2.6 Simbol Rele kontrol

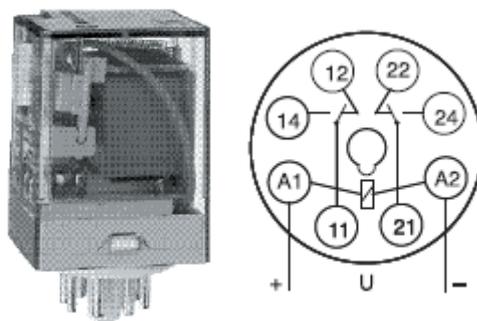
Disamping rele standar seperti yang telah dibahas di atas, dalam prakteknya dikenal pula rele yang dibuat dalam bentuk lebih kecil, yang lazim disebut sebagai rele kontrol mini (*miniature control relay*). Seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 5.7. Rele mini ini didisain sesuai keperluan penggunanya untuk berbagai keperluan, berukuran mini dan kompak, kokoh dan memiliki kapasitas listrik tinggi.Konstruksi mekanik rele dilapisi dengan polikarbon dan bebas debu.

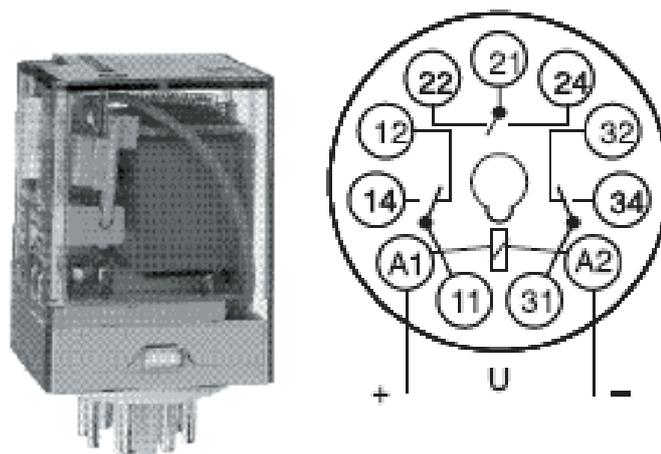
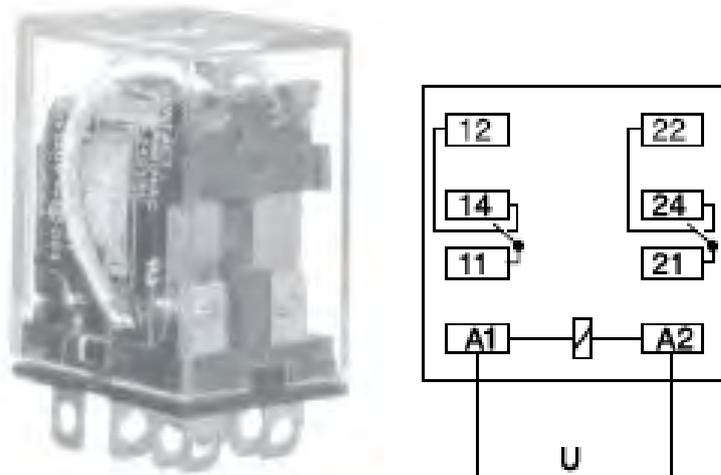
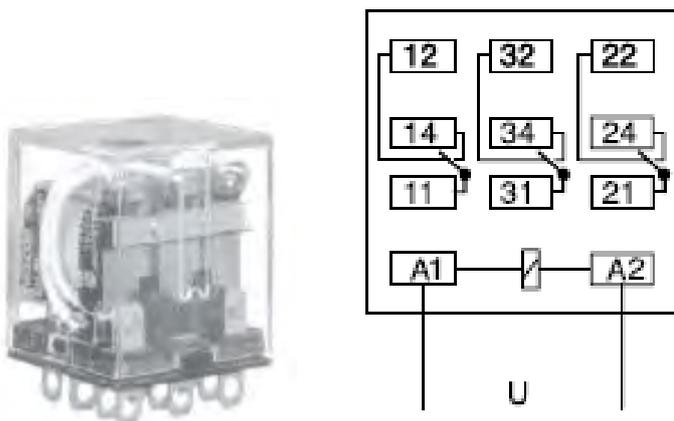
Gambar 2.7 Konstruksi Rele Mini

Tegangan operasi standar untuk koil solenoid rele mini menggunakan dua jenis sumber daya, yaitu AC dan DC.Untuk tegangan VAC hingga 240V, dan untuk tegangan VDC hingga 120V.Kotak rele dapat dipilih sesuai keperluan pemakainya, yaitu tipe DPDT, TPDT, FPDT.Arus nominal bervariasi, yaitu 3A, 5A, dan 7A. Untuk keperluan perakitan dan instalasi, tersedia berbagai tipe terminal rele, yaitu plug-in, PCB, dan solder, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.8. Jumlah terminal rele bervariasi biasanya terdiri dari 8 terminal, dan 14 terminal, dengan formasi segiempat atau lingkaran.

Tipe Plug-in tipe PCB tipe Solder

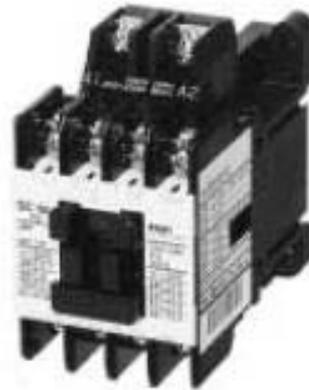
Gambar 2.8 Tipe Terminal Rele

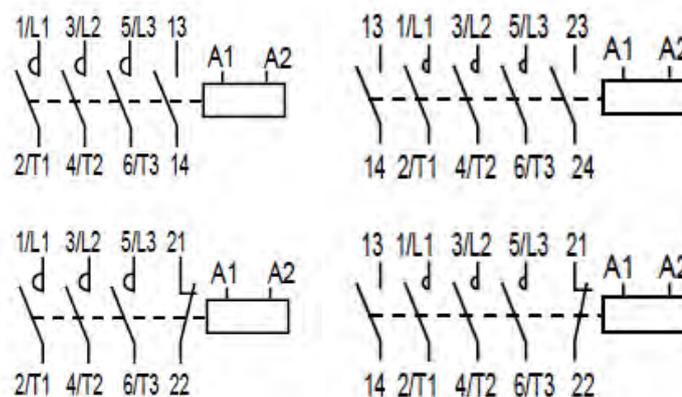
Tata susun kontak pada rele mini agak berbeda dengan rele standar. Pada rele mini dikenal dengan istilah 2PDT yakni *two pole double through*, yang bermakna rele tersebut memiliki 2 kutub masing-masing kutub memiliki dua pasang kontak NO dan

NC. Gambar 2.9 memperlihatkan contoh terminal rele mini tipe Plug-in dengan formasi lingkaran.Rele mini tersebut memiliki 8 terminal dengan tata susun kontak tipe DPDT. Kutub pertama adalah melalui terminal 11, dengan output terminal 14 (NO) dan terminal 12 (NC). Kutub kedua melalui terminal 21, dengan output terminal 22 (NC), dan terminal 24 (NO). Terminal A1 dan A2 adalah terminal untuk koil solenoid.

Gambar 2.9 Susunan Kontak Rele Mini tipe DPDT

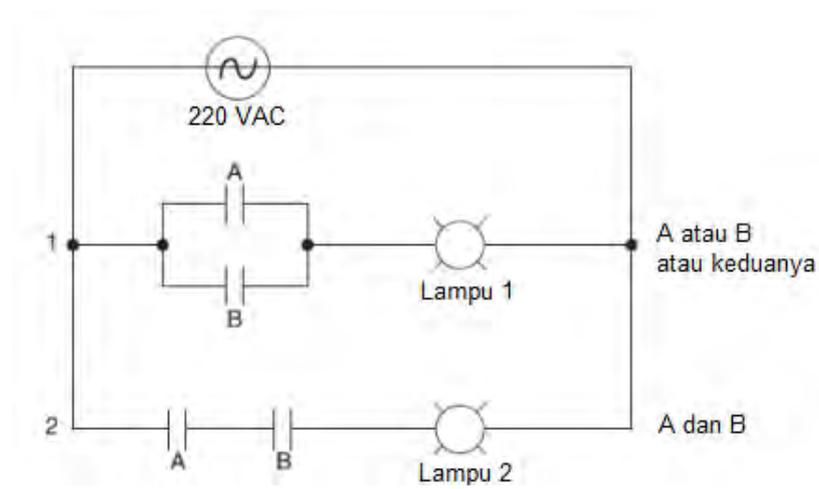
Gambar 2.9 memperlihatkan rele mini dengan tata susun kontak tipe TPDT.Rele TPDT memiliki 3 kutub, dimana setiap kutub memiliki dua pasang kontak.Kutub pertama melalui terminal 11, dengan pasangan kontak NC melalui terminal 12, dan kontak NO melalui terminal 14.Kutub kedua melalui terminal 21, dengan kontak NC melalui terminal 22, dan kontak NO melalui terminal 24.Kutub ketiiga melalui terminal 31 dengan kontak N melalui terminal 32 dan kontak NO melalui terminal 34.

Gambar 2.10 Susunan Kontak Rele Mini tipe DPDT bentuk lingkaran

Gambar 2.11 Tipkal Susunan Kontak Rele Mini DPDT bentuk segi empat

Gambar 2.12 Tipikal Susunan Kontak Rele Mini TPDT bentuk segi empat

Seperti diketahui, kemampuan hantar arus yang dapat dilakukan oleh kontak rele terbatas, yakni berkisar antara 0,2A hingga 6A.Untuk keperluan penyaluran daya ke beban dengan arus yang lebih tinggi, pabrikan telah meningkatkan kemampuan hantar arus kontak rele hingga mencapai ratusan amper.Rele yang memiliki

kemampuan hantar arus yang besar ini, lazim disebut sebagai kontaktor.Gambar 2.13 memperlihatkan konstruksi kontaktor.

Gambar 2.13 Tipe Kontaktor

Kontaktor didisain khusus untuk keperluan penyaluran daya ke beban (*power switching*) dengan arus yang lebih besar. Kemampuan hantar arus kontak pada kontaktor bervariasi tergantung beban yang akan dipikulnya, biasanya memiliki rentang dari puluhan hingga ratusan amper. Pengkodean kontak pada kontaktor juga berbeda hanya menggunakan satu digit seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.14. Pasangan kontak yang digunakan untuk menyalurkan daya ke beban diberi kode 1 – 2 atau L1 – T1, 3 – 4 atau L2 – T2, dan 5 – 6 atau L3 – T3. Biasanya pada kontaktor dilengkapi juga dengan pasangan kontak untuk keperluan kontrol, di mana pengkodeannya sama seperti pegkodean untuk kontak rele.

Gambar 2.14 Simbol Kontaktor

Rele digunakan untuk mengimplementasikan *control sequence* menggunakan logika boolean. Logika boolean merupakan suatu cara membuat keputusan menggunakan dua-posisi atau status. Status sakelar dalam posisi membuka atau menutup, disekspresikan sebaga logika nol (0) atau satu (1). Ini merupakan bagaimana komputer digital bekerja; pada kenyataannya nama digital diambilkan dari status diskrit on/off. Komputer digital pertama dibangun berbasis rele elektromagnetik, tetapi saat ini fungsi rele elektromagnetik tersebut telah digantikan oleh piranti semikonduktor.

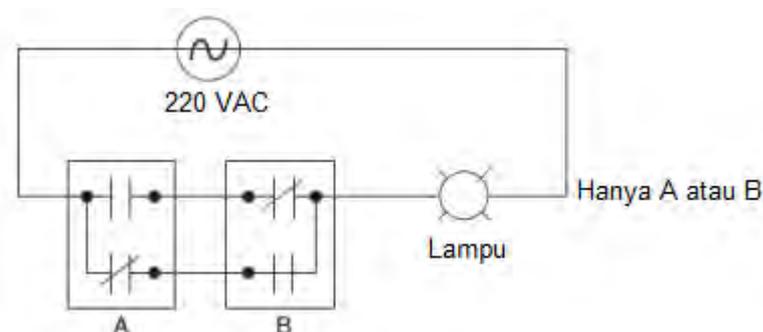
Logika boolean atau logika rele dapat digunakan dalam suatu kontrol sekuensial sederhana. Sebagai contoh, katakanlah kita menginginkan menghidupkan (*turn on*) sebuah lampu pilot jika salah satu fan A atau fan B bekerja. Untuk mendeteksi status fan dipasang *differential pressure switch* pada fan. Kontak *switch* tersebut akan terbuka jika tekanan fan rendah dan akan menutup jika tekanan fan tinggi. Untuk membuat lampu pilot menyala ketika fan aktif, maka kedua kontak fan tersebut dipasang parallel seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.15. Jika kita ingin menghidupkan lampu pilot ketika fan A dan fan B aktif bekerja , maka kedua kontak switch harus dipasang seri.

Gambar 2.15 Logika rele OR (A atau B) dan AND (A dan B)

Dengan notasi logika Boolean, jika peristiwa penyelaan lampu pilot diberi label C, maka dua peristiwa sekuensial berikutnya dapat dituliskan sebgai berikut:

If (A or B) then C (rangkaian paralel – baris 1)
If (A and B) then C (rangkaian seri – baris 2)

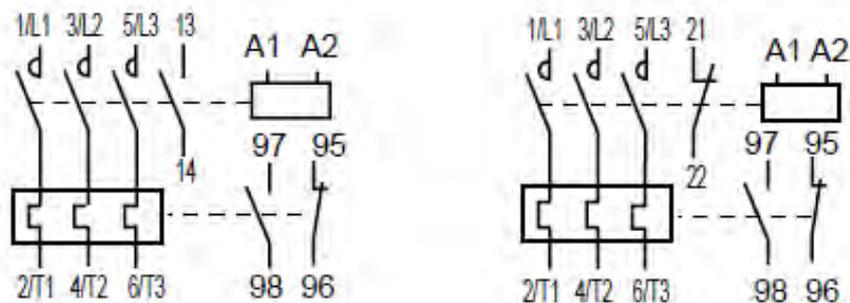
Katakan, kita ingin lampu pilot tersebut menyala ketika salah satu dari fan tersebut bekerja, tetapi ketika kedua fan bekerja lampu tidak dapat menyala. Untuk keperluan itu dibutuhkan sakelar single-pole double-through (SPDT) seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.16.Terlihat dalam gambar tersebut, bagaimana kontak *double-through* dapat digunakan untuk menyalakan lampu bila salah satu fan bekerja. Tetapi ketika kedua fan bekerja lampu malahan padam. Logika ini dapat diekspresikan sebagai berikut:

If (A or B) and NOT (A and B) then C

Kontak SPDT banyak diterapkan pada two-position thermostat, dan differential pressure switch.

Gambar 2.16 Simbol Kontaktor

5. Starter Magnetik

Starter magnetic adalah istilah yang dikenakan pada rangkaian pengasutan motor secara langsung menggunakan kontaktor dan thermal overload. Gambar 2.17 memperlihatkan contoh sebuah starter magnetic berkapasitas besar untuk mengasut sebuah motor 3 fasa. Sedang Gambar 2.18 memperlihatkan diagram listrik rangkaian kontrol starter magnetic.

Gambar 2.17 Starter Magnetic Non Reversing Control

Gambar 2.18 Rangkaian Daya Starter Magnetic

6. Sakelar Otomatik

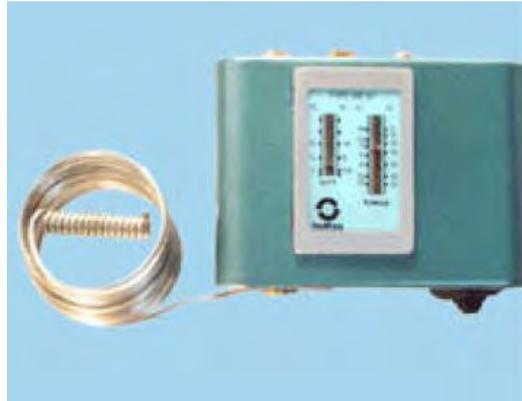
Agar beban listrik tersebut dapat beroperasi sebagaimana mestinya harus dikontrol melalui piranti kontrol dan piranti pengaman.Piranti kontrol dan piranti pengaman yang digunakan lazimnya berupa sakelar otomatik.Pada umumnya sakelar otomatik memiliki dua pasang kontak NO dan NC. Sakelar otomatik yang digunakan untuk mengontrol beban pada peralatan refrigerasi dan tata udara adalah *thermostat, high*

pressure switch, low pressure switch, dan timer switch. defrost thermal switch, overload protector, dan *timer switch.*

Thermostat

Thermostat merupakan piranti pengontrol suhu cabinet atau suhu ruang yang bekerja secara otomatik. Piranti ini akan memutuskan motor kompresor (*cut off*) dari jala-jala tegangan listrik, jika suhu ruang sudah mencapa nilai preset dan akan menghubungkan motor kompresor ke jala-jala tegangan (*restart*), jika suhu ruang berada di atas niai yang diinginkan. Suhu cut off dapat diatur dengan memutar suatu knop hingga mencapai harga batas yang diinginkan.

Pada umumnya Thermostat didisain dengan konstruksi yang kompak.Semua bagian dari logam dibuat dari logam anti karat (*Stainless steel atau Zinc plated*). Biasanya Elemen pendeteksi suhu berupa bulb yang berisi gas refrigerant tertentu terhubung ke suatu membrane (*bellow*) melalui pipa kapiler. Tipe sakelar ada 2 jenis, yaitu SPST, atau SPDT, di mana kontak sakelar akan menutup bila suhu bulb naik. Kekuatan hantar arus kontak thermostat adalah 6A pada tegangan 240 VAC hingga 20 A pada tegangan 240 VAC. Cara pemasangan menggunakan dua buah sekerup M4, 55 mm, atau M10. Gambar 2.19 adalah tipikal thermostat standar yang memiliki satu pengaturan yaitu pengaturan range.Thermostat jenis ini lazim digunakan pada refrigerator/freezer untuk keperluan domestic.

Gambar 2.19 Thermostat mekanik standar

Gambar 2.20 Thermostat mekanik yang dilengkapi dua jenis pengaturan (range & differential)

Gambar 2.20 adalah Thermostat mekanik yang dilengkapi dengan dua jenis skala yaitu skala untuk pengaturan Range dan skala untuk pengaturan Differential.Thermostat jenis ini lazim digunakan pada sistem refrigerasi komersial, misalnya *display case*, dan *cold storage*. Thermostat tersebut memiliki mekanisme operasi kontak yang kokoh dan tertutup rapat dengan sehingga bebas debu. Suhu *cut out* dan *cut in* dapat diatur secara independen karena adanya pengaturan differential.

Pressure switch

Gambar 2.21 memperlihatkan tipikal *pressure switch* yang lazim digunakan pada peralatan refrigerasi komersial dan industri. Di pasaran tersedia 2 jenis pressure switch, yaitu *Single pressure control* (low pressure switch, atau high pressure switch), dan *double prossure control*, (memiliki low & high pressure switch (kanan)). Ada 3 jenis tata susunan kontaknya, yaitu SPST, SPDT, dan DPST. Tabel 2.3 memperlihatkan berbagai simbol sakelar otomatik.

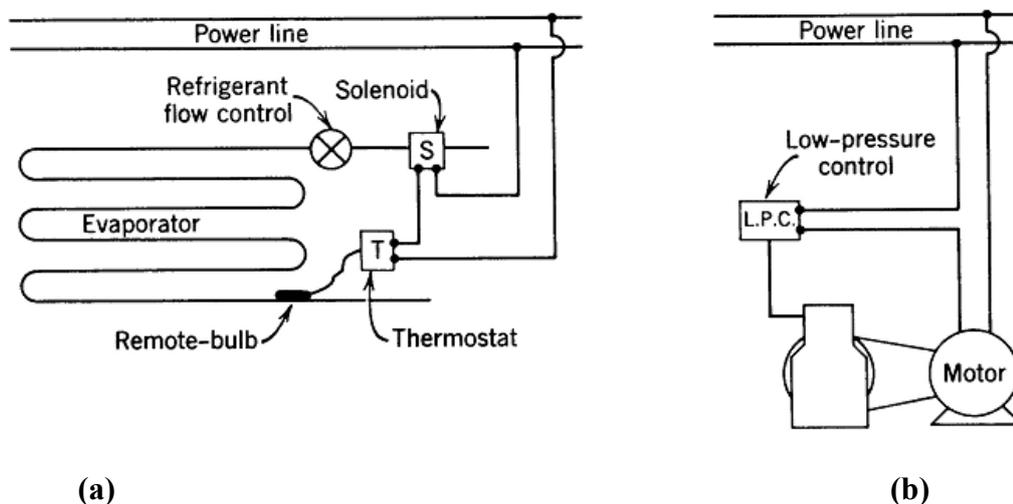
Gambar 2.21 Pressure Switch

Tabel 5.3. Berbagai Simbol Sakelar otomatik

Nama	Simbol	Nama	Simbol
Pressure switch SPST	N.O. N.C.	Pressure switch SPDT	2 1 1
Level switch SPST	N.O. N.C.	Limit switch SPST	N.O. N.C.
Thermal switch SPST	N.O. N.C.	Delay-on Timer switch SPST	
Flow switch SPST	N.O. N.C.	Delay-off Timer switch SPST	
Overload protector (thermal) SPST		Overload protector (magnetic) SPST	
Foot switch SPST	N.O. N.C.	Control relay solenoid	K

Gambar 2.22 memperlihatkan tipikal penggunaan thermostat dan low pressure control pada unit refrigerasi komersial. Dalam Gambar (a), terlihat katub solenoid (S) dipasang pada saluran refrigeran yang akan masuk ke evaporator sebelum katub ekspansi (*refrigerant flow control*). Katub solenoid (S) terhubung ke jala-jala tegangan (*power line*) melalui thermostat (T). Proses kerja sistem ini adalah sebagai berikut: Pada kondisi operasi normal, kontak thermostat tertutup, sehingga solenoid (S) bekerja, refrigerant mengalir masuk ke evaporator melalui katub ekspansi untuk mengatur debitnya. Jika suhu evaporator semakin rendah, suhu *remote bulb* juga semakin turun. Jika suhu remote bulb turun sampai titik tertentu, sesuai seting thermostat, maka kontak thermostat terbuka, solenoid tidak aktif, aliran ferigeran ke evaporator berhenti, dan proses pendinginan juga berhenti.

Pada Gambar (b), terlihat motor kompresor terhubung ke jala-jala tegangan satu fasa melalui low pressure control. Hal ini dimaksudkan, bila piranti kontrol (low pressure control) mendeteksi tekanan yang sangat rendah di saluran hisap kompresor, akibat suhu refrigerant yang terlalu rendah, maka kontak low pressure control akan terbuka, sehingga motor kompresor berhenti.

(a) **(b)**

Gambar 2.22 Tipikal penggunaan thermostat dan Low Pressure control pada unit komersial

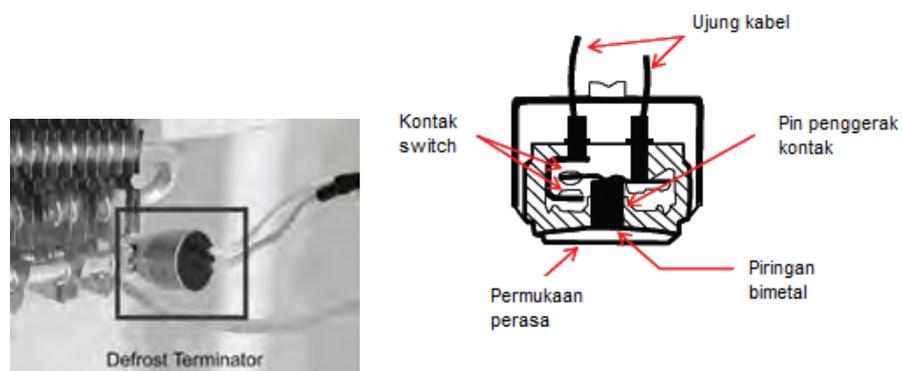
7. Piranti Pengaman

Seperti diketahui, salah satu jenis beban listrik pada mesin refrigerasi adalah deforst heater. Defrost heater adalah komponen listrik pada mesin refrigerasi untuk mengendalikan jumlah lapisan bunga es pada permukaan evaporator. Bila lapisan bunga es yang terakumulasi pada permukaan evaporator tidak dihilangkan maka akan mengganggu proses pendinginan. Oleh karena itu pada unit refrigerasi baik untuk keperluan domestik maupun komersial telah dilengkapi dengan sistem defrost otomatik, yakni dengan menggunakan defrost timer. Defrost timer merupakan salah satu piranti pengaman yang dipasang pada unit refrigerator. Gambar 2.23 memperlihatkan tipikal defrost timer, yang beroperasi secara elektromekanik. Gambar 2.24 memperlihatkan tipikal defrost timer yang beroperasi secara mikroelektronik. Piranti kontrol elektronik dilengkapi dengan microprosesor yang dapat diprogram sesuai keperluan.

Gambar 2.23 Tipikal Defrost Timer mekanik

Sistem pencairan bunga es (defrost) otomatik yang diterapkan pada unit refrigerator menggunakan timer untuk mengaktifkan siklus defrost. Pada sistem defrost otomatik, ditambahkan heater (elemen pemenas) dan thermostat pada koil evaporator. Defrost timer mengatur siklus pencairan bunga es di evaporator, lazimnya setiap 8 jam. Bila saat pencairan bunga es tiba, maka kompresor akan berhenti bekerja, dan defrost heater akan aktif. Defrost heater akan memanaskan evaporator sehingga bunga es mencair.

Gambar 2.24 Tipikal Defrost timer elektronik

Defrost thermostat akan memonitor suhu evaporator, dan pada saat suhu evaporator mencapai suatu titik tertentu maka defrost heater menjadi tidak aktif. Defrost thermostat lazim disebut sebagai defrost termination thermostat atau defrost terminator atau defrost thermal switch. Target suhu evaporator biasanya 40 dan 60 ^{0}F. Gambar 2.25 memperlihatkan lokasi penempatan defrost termination dan konstruksinya.

Gambar 2.25 Tipikal Defrost terminator

Air kondesat ditampung oleh sejenis baki yang diletakkan di bagian dasar evaporator di mana udara panas dari kompresor dan condenser mengalir melewatinya sehingga mempercepat proses penguapannya.

Beberapa system siklus pencairan bunga es dilaksanakan berbasis hitungan waktu. Besaran waktu dipilih berdasarkan interval antar defrost. Jika timer menghitung waktu yang telah dipilih telah tercapai, maka system defrost akan mulai bekerja, tanpa memperhitungkan kebutuhan pendinginan di dalam system. Konfigurasi ini lazim disebut sebagai *continuous run*.Tipe perhitungan waktu yang lebih efektif adalah sistem yang memperhitungkan jumlah waktu kompresor bekerja. Bila timer mendeteksi akumulasi waktu kerja kompresor sesuai dengan pengaturan waktu yang diinginkan maka system defrost akan bekerja. Sistem seperti ini lazim disebut sebagai *cumulative run-time defrost.*

8. Diagram Skematik

Simbol yang digunakan untuk merepresentasikan komponen listrik dan elektronik dapat dianggap sebagai bentuk singkat atau bentuk sederhana dari komponen dengan tujuan untuk membuat sirkit menjadi sederhana dan tidak rumit, sehingga mudah dibaca atau dipahami.Dalam sistem kendali di industri, simbol dan garis menunjukkan bagaimana elemen kendali yang ada di dalam sistem kendali tersebut saling dihubungkan antara satu komponen dengan komponen lainnya untuk membangun sebuah fungsi kendali tertentu.Tetapi, tidak seluruh simbol listrik dan elektronik memiliki simbol standard.Pada kenyataannya, kita masih dapat menemukan perbedaan simbol yang dikeluarkan oleh pabrikan yang berbeda.

Standariasasi lain (IEC=International electrical Commission), memiliki aturan lebih tegas dan lugas dalam merepresentasikan simbol dalam sirkit diagram secara skematik (Tabel 2.4) Dalam standar ini setiap komponen kendali memiliki simbol yang berbeda-beda. Setiap simbol hanya mewakili sebuah komponen. Kalau dalam diagram ladder sinyal kendali mengalir dari rel jala-jala sebelah kiri menuju ke rel jala-jalasebelah kanan (secara horisontal), maka dalam diagram skematik ini arah

aliran sinyal listrik, mengalir dari rel jala-jala yang diletakkan di atas menuju ke rel jala-jala yang diletakkan di bawah (secara vertikal).

Dalam banyak hal, seringkali simbol tidak dapat menggambarkan kondisi sebenarnya dari piranti atau komponen yang disimbolkannya. Oleh Karena itu pemahaman akan makna dan maksud simbol merupakan faktor penting dalam memahami sistem kendali di industri. Suatu diagram rangkaian listrik merupakan representasi dari peralatan listrik dan piranti listrik yang digambarkan dengan simbol-simbol listrik sesuai dengan standar yang dikeluarkan oleh IEC atau DIN, yaitu suatu badan standarisasi tingkat dunia.

Tabel 2.4 memperlihatkan simbol yang lazim digunakan pada diagram skeamtik.

Simbol	Nama Piranti
	Aktuator Semi Rotari
	Lampu Indikator
	Buzzer
	Sakelar Toggel (NO)
	Sakelar Tombol Tekan (NO)
	Kontak Rele (NO)
	Kontak Rele (NC)
	Koil Rele
	Koil Rele Tunda Waktu (On-delay)
	Koil rele tunda waktu (delay off)
	Sensor Proksimiti Induktif
	Sensor proksimiti kapasitif
	Sensor proksimiti magnetik
	Katub solenoid
	Rele Counter

.

Disain Diagram Skematik

Diagram skematik merupakan dokumen yang sangat penting yang diperlukan oleh seorang teknisi/mekanik pada saat sedang melaksanakan instalasi sistem refrigerasi dan tata udara, atau pada saat melakukan pekerjaan pemeliharaan dan perbaikan.Diagram skematik adalah diagram listrik yang dibangun melalui simbol-simbol.Untuk memberi identitas pada simbol yang berkaitan dengannya, maka digunakan kode-kode huruf dan angka.Pemberian atribut dengan kode angka dan huruf juga berguna untuk membedakan antara komponen satu dengan lainnya atau untuk membedakan antara kontak satu dengan kontak lainnya. Gambar 2.26 memperlihatkan contoh tipikal diagram skematik. Dalam diagram tersebut terdiri dari dua jenis rangkaian, yaitu rangkaian daya, dan angkaian kontrol. Kedua direpresentasikan melalui diagram skematik

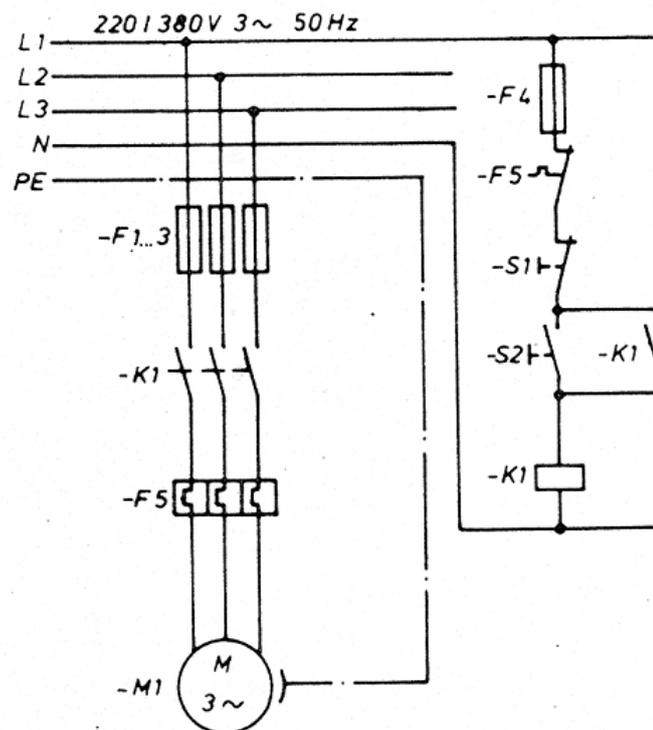
Interpretasi Diagram Skematik

Untuk memberikan ilustrasi yang lebih jelas tentang interpretasi diagram skematik, berikut ini diberikan satu contoh kasus pada pengasutan motor dengan menggunakan piranti frekuensi inverter, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.26. Di mana F adalah fuse. Q piranti control dapat berupa kontaktor atau MCB. R adalah resistor atau induktor. K adalah filter yang melindungi peralatan kontrol dari bahaya interferensi. T adalah Inverter (VFD).Dan M adalah motor 3-fasa.

Gambar 2.26 Diagram Skematik untuk Starter Magnetik

DOL Starter

Berikut ini diberikan contoh kasus pada pengasutan motor 3-fasa yang paling sederhana, yaitu system Direct 0n-line (DOL) Starter. Untuk mengoperasikan kompresor diperlukan motor penggerak. Unit refrigerasi berskala besar di atas 5 HP,

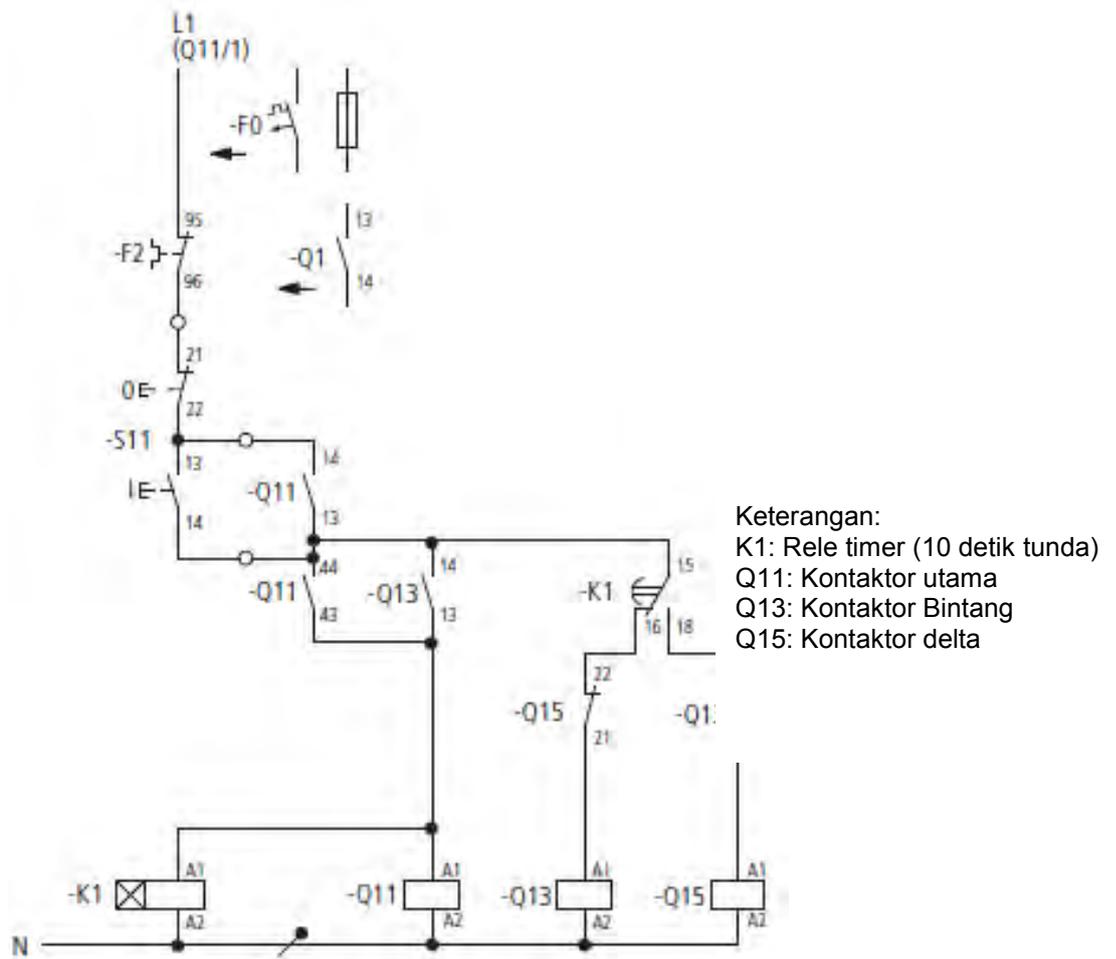
biasanya menggunakan motor 3 fasa. Ada dua jenis motor 3 fasa yang lazim digunakan untuk mengoperasikan kompresor refrigerasi dan tata udara berkapasitas besar, yaitu motor 3 fasa standar (satu kecepatan) dan motor dua kecepatan system belitan terpisah. Gambar 2.27 memperlihatkan tipikal diagram skematik untuk pengasutan motor 3 fasa standar. Dalam kasus ini hanya digunakan satu kontaktor yang dilengkapi dengan pengaman beban lebih

Gambar 2.27 Diagram Skematik untuk Starter Magnetik

Biasanya aliran arus dalam diagram skematik disusun dari atas menuju ke bawah. Contoh diagram skematik dalam Gambar 2.27 terdiri dari dua rangkaian listrik, yaitu rangkaian daya, dan rangkaian kontrol. Rangkaian daya digunakan untuk memperlihatkan bagaimana beban listrik berupa sebuah motor induksi 3 fasa mendapat catu daya listrik.Sedang rangkaian kontrol memperlihatkan bagaimana beban listrik berupa koil kontaktor mendapat catu daya listrik. Dapat kita lihat dalam gambar`tersebut, motor induksi 3 fasa (M1) terhubung ke jala-jala tegangan sistem 3 fasa L1, L2, dan L3, melalui sebuah piranti proteksi (fuse) F1, F2, F3, kontak

kontaktor K1, dan overload protector F5. Motor (M1) akan bekerja bila fuse F1, F2, F3, tidak putus, dan kontak kontaktor K1 menutup. Kontak kontaktor K1 dikendalikan oleh koil solenoid K1 yang ada pada rangkaian kontrol. Koil solenoid K1, terhubung ke jala-jala tegangan sistem 1 fasa L1 dan N, melalui piranti proteksi F1, overload relay F5, kontak NC tombol tekan S1, kontak NO tombol tekan S2. Koil solenoid K1 akan aktif jika tombol tekan S2 tertutup. Jika tombol tekan S2 ditekan, maka Koil solenoid K1 mendapat penguatan dari jala-jala sehingga bekerja.Seluruh kontak K1 menutup, sehingga motor M1 bekerja.Walaupun tombol tekan S2 terbuka lagi, koil solenoid K1 tetap aktif karena terkunci oleh kontak K1 yang terhubung parallel dengan S2.Motor M1 berhenti bekerja bila salah satu piranti pengaman F4 atau F5 terputus atau tombol tekan S1 ditekan. Bila tombol tekan S1 terbuka, maka koil solenoid akan kehilangan penguatan dari jala-jala, dan seluruh kontak K1 terbuka, motor M1 berhenti bekerja.

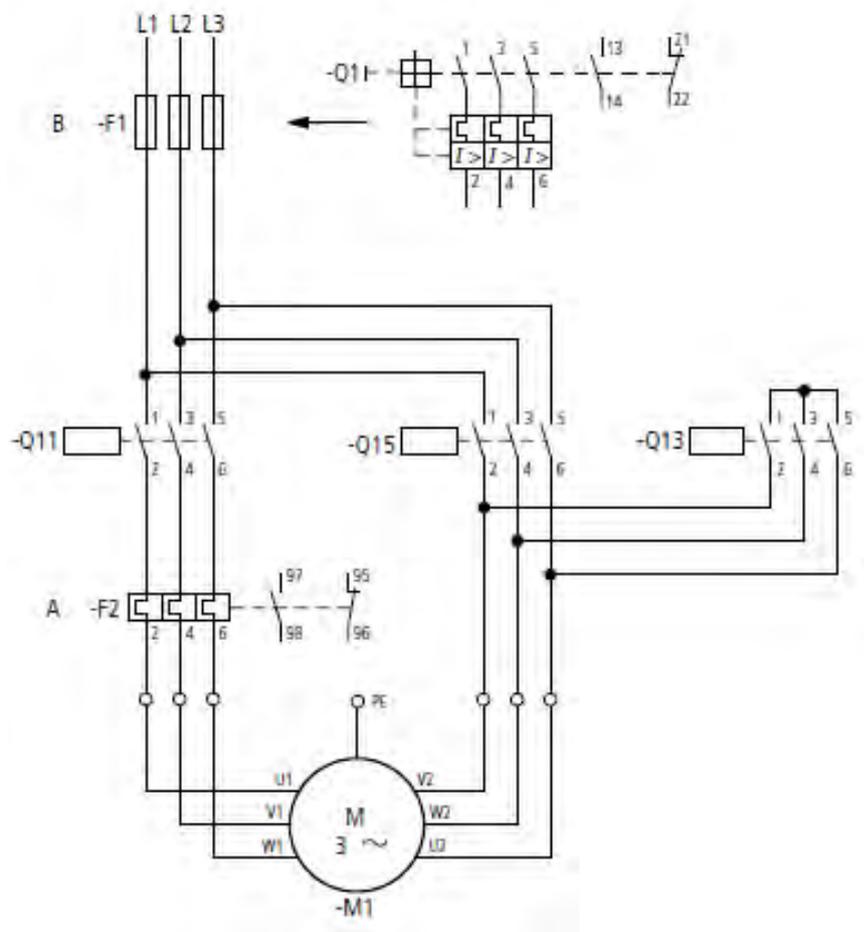
Star-delta Starter

DOL starter adalah cara pengasutan motor 3-fasa secara langsung. Dalam hal ini belitan motor langsung dihubungkan ke sumber tegangan. Misalnya, untuk data motor 220/380 V, maka motor dihubungkan dalam bintang bila tegangan sumbernya 380 V. Tetapi motor harus dihubungkan dalam delta bila tegangan sumbernya 220 V.

Star-delta starter adalah cara pengasutan motor 3-fasa secara tidak langsung. Misalnya untuk kasus motor 220 / 380 V. Pada saat mulai jalan (start) motor dihubungkan bintang tetapi dihubungkan pada tegangan sumber 220 V. Beberapa saat kemudian motor dihubungkan dalam delta dengan sumber tegangan tetap 220 V. Dengan cara ini, maka arus mula jalan dapat diturunkan, karena pada saat starting belitan motor menerima tegangan yang lebih kecil dari kemampuan sebenarnya, yaitu seharusnya dalam hubungan bintang, motor mampu menerima tegangan 380 V, tetapi yang diberikan ke motor hanya 220 V. Karena motor menerima tegangan lebih kecil maka arus yang ditarik oleh motor juga lebih kecil. Beberapa saat setelah motor berputar, sambungan motor diubah ke sambungan delta.

Gambar 2.28 Diagram Skematik untuk Starter Magnetik

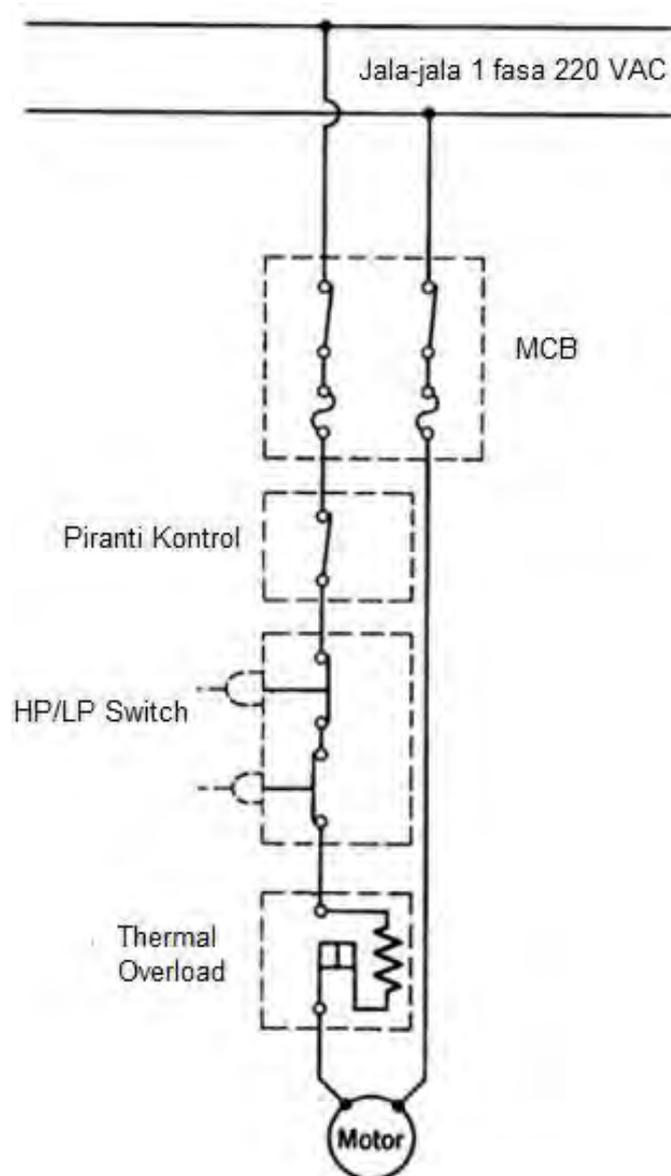
Gambar 2.28 memperlihatkan rangkain kontrol Star-delta Starter yang dibangun dengan menggunakan diagram skematik. Sekuen kerjanya sebagai berikut: Jika tombol tekan 1 ditekan, kontaktor bintang Q13 aktif, melalui kontak rele timer K1 nomor 15-16. Kemudian koil kontaktor utama (Q11) aktif, melalui kontak Q13 nomor 13-14. Pada kondisi ini motor terhubung dalam bintang. Sepuluh detik kemudian (sesuai pengaturan rele timer), maka koil kontaktor bintang Q13 tidak aktif, karena kontak rele timer 15-16 terbuka. Kemudian koil kontaktor delta Q15 aktif, melalui kontak rele timer nomor 15-18. Pada kondisi ini berarti motor terhubung dalam delta. Ketika tekanan pada sakelar tombol tekan 1 dilepas, motor tetap akan bekerja karena aliran arus menuju ke koil kontaktor utama dan koil kontaktor delta dijaga oleh kontak kontaktor utama Q11 nomor 13-14, yang terhubung parallel dengan kontak tombol tekan 1.

Bila sakelar tombol tekan 0 ditekan, maka motor akan berhenti bekerja karena aliran arus ke koil kontaktor utama terputus. Bila kontak rele overload F2 terbuka karena adanya gangguan arus lebih, maka motor juga akan berhenti bekerja.

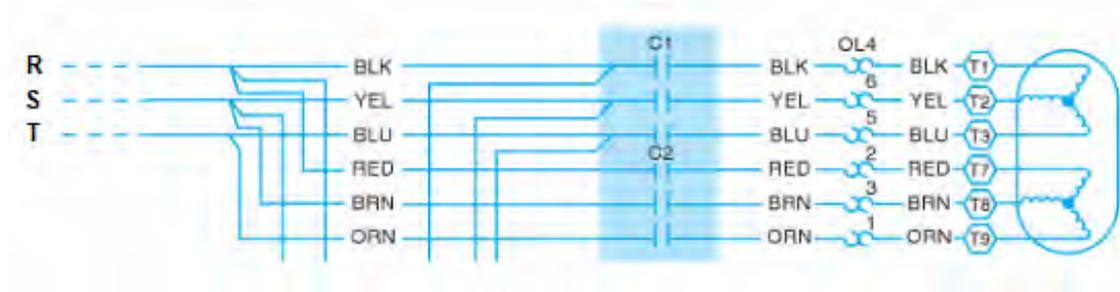
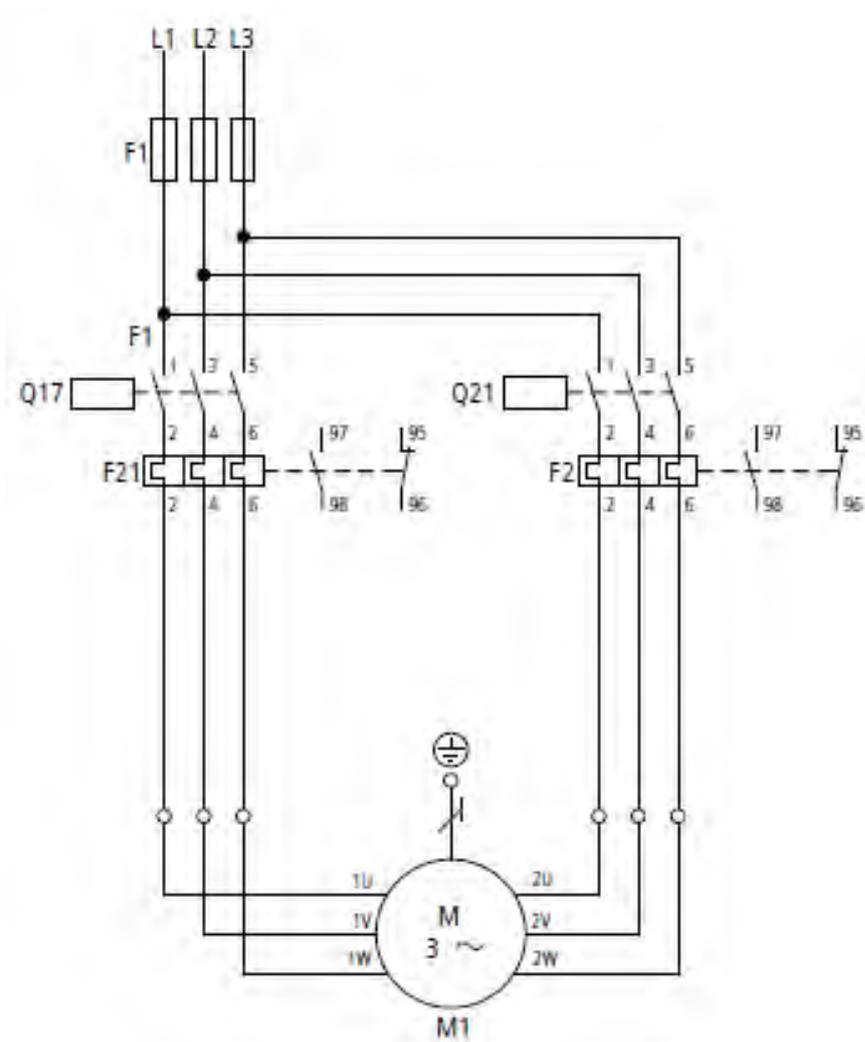
Gambar 2.29 memperlihatkan rangkaian daya Star-delta Starter. Dalam hal ini pemakaian pengaman instalasi berupa fuse (F1) dapat digantikan dengan Mini Circuit Breaker (MCB), Q1.

Gambar 2.29 Diagram Skematik untuk Rangkaian Daya Star-delta Starter

Dalam Gambar 2.30, memperlihatkan sebuah motor satu fasa dikontrol melalui 4 piranti kontrol, yaitu over current protector, high & low pressure control, operating control yakni sebuah room thermostat, dan pengaman instalasi yakni berupa fuse atau circuit breaker. Motor akan bekerja bila keempat piranti control tersebut dalam

keadaan tertutup. Bila salah satu dari piranti kontrol tersebut terbuka maka motor akan berhenti bekerja. Sistem ini hanya diterapkan pada motor berskala kecil di bawah 2,2 HP.

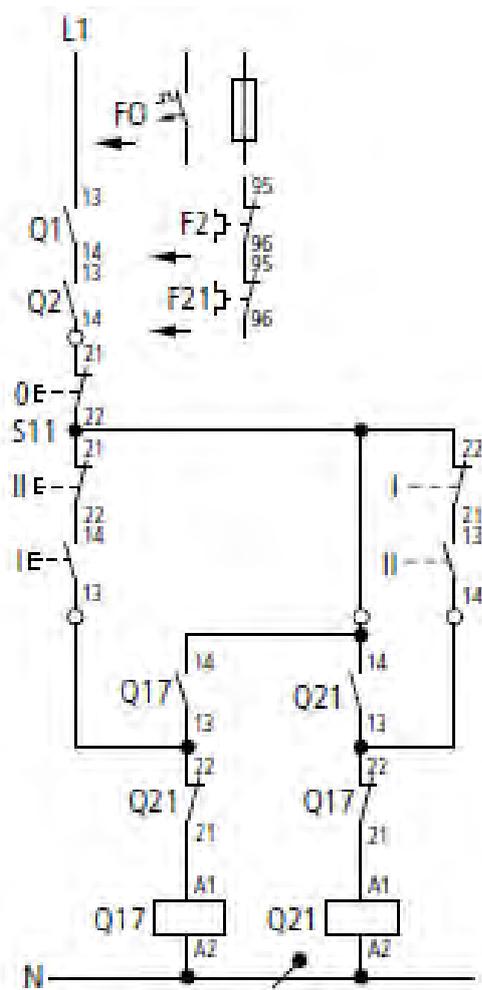
Untuk motor yang lebih besar dari 2,2 HP, biasanya telah menggunakan kontaktor sebagai komponen kontrolnya.

Gambar 2.30 Tipikal rangkaian kontrol Motor 1 fasa

Gambar 2.31 memperlihatkan diagram skematik pengasutan motor dua kecepatan. Dalam kasus ini motor kompresor memiliki 2 jenis belitan yang terpisah, untuk

kecepatan rendah dan kecapatan tinggi. Rankaian control terdiri dari 2 kontaktor C1 dan C2 yang akan bekerja bergantian. Masing-masing kontaktor dilengkapi dengan rele beban lebih (QL4)..

Gambar 2.31 Rangkaian Pengasutan Motor dua kecepatan

Gambar 2.32 Rangkaian Pengasutan Motor dua kecepatan

Gambar 2.32 memperlihatkan rangkaian daya Two Speed Starter atau rangkaian daya pengasutan motor dua kecepatan. Terlihat dalam rangkaian daya, dua kontaktor dan dua rele overload yang akan bekerja secara bergantian. Sistem ini lazim digunakan pada unit tata udara berskala sedang hingga 10 HP. Pada saat beban ruangan tinggi maka motor dioperasikan pada kecepatan tinggi, misalnya 2800 rpm. Tetapi ketika beban ruangan rendah, maka motor kompresor diopersikan pada kecepatan rendah, misalnya 1400 rpm.

Gambar 2.33 memperlihatkan rangkaian control Two Speed Starter. Sekuen kerja system tersebut sebagai berikut: Jika sakelar tombol tekan 1 ditekan maka koil kontaktor untuk putaran rendah Q17 aktif, melalui kontak NC Q21 nomor 21-22. Aliran listrik ke koil Q17 akan tetap dijaga kelangsungannya oleh kontak Q17 nomor 13-14. Pada saat Q17 aktif maka Q21 tida dapat diaktifkan karena adanya kontak interlock NC Q17 nomor 21-22 yang terbuka. Untuk menyetop motor, maka sakelar tombol tekan 11, harus ditekan.

Jika sakelar tombol tekan 11 ditekan maka koil kontaktor untuk putaran rendah Q21 aktif, melalui kontak NC Q17 nomor 21-22. Aliran listrik ke koil Q21 akan tetap dijaga kelangsungannya oleh kontak Q21 nomor 13-14. Pada saat Q21 aktif maka Q17 tida dapat diaktifkan karena adanya kontak interlock NC Q21 nomor 21-22 yang terbuka. Untuk menyetop motor, maka sakelar tombol tekan 0, harus ditekan.

Gambar 2.33 Rangkaian Kontrol Pengasutan Motor dua kecepatan

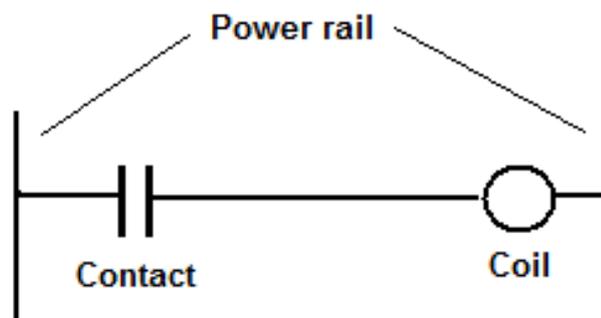
9. Diagram Ladder

Dalam diagram skematik setiap komponen listrik memiliki simbol yang berbeda-beda. Setiap simbol hanya mewakili sebuah komponen. Kalau dalam diagram skematik sinyal kendali mengalir dari rel jala-jala sebelah atas menuju ke rel jala-jala sebelah bawah (secara vertikal), tetapi dalam diagram ladder sinyal kendali mengalir dari rel jala-jala sebelah kiri menuju ke rel jala-jala sebelah kanan (secara horisontal). Perbedaan lainnya adalah dalam menetapkan simbol kompnen, dalam diagram ladder seluruh komponen kontrol memiliki simbol yang sama.

Disain Diagram Ladder

Tidak beda dengan diagram skematik, diagram ladder juga merupakan dokumen yang sangat penting yang diperlukan oleh seorang teknisi/mekanik pada saat sedang melaksanakan instalasi sistem refrigerasi dan tata udara, atau pada saat melakukan pekerjaan pemeliharaan dan perbaikan. Diagram ladder merupakan representasi secara skematik dari suatu sirkit kendali, dan bukan merupakan representasi secara fisik. Dalam diagram ladder, simbolisasinya relatif sederhana, karena apapun jenis piranti inputnya maka bentuk simbolisasinya dalam skema yang sama, berupa sebuah kontak NO (*normally open*) atau NC (*normally closed*). Dan apapun piranti outputnya, simbolnya juga sama, yaitu berupa koil.

Gambar 2.34 memperlihatkan sebuah diagram ladder. Diagram ladder terdiri dari bapak tangga sebagai rel daya (*power rail)***,** yang diletakkan secara vertikal pada sisi kiri dan kanan diagram, dan anak tangga (*rung)*, yang diletakkan secara horizontal antara kedua rel jala-jala.

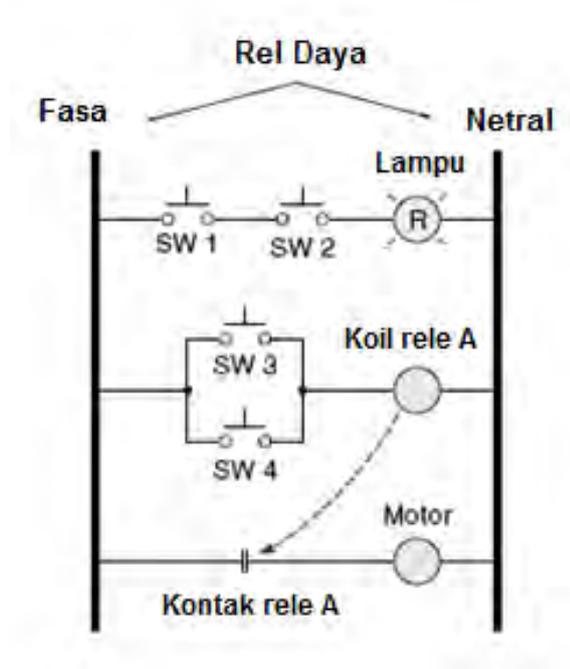
Rel daya (*Power rail*) merupakan sumber energi atau catu daya (AC atau DC) untuk mengoperasikan sirkitnya, di mana rel kiri menggambarkan rel daya yang memiliki tegangan lebih tinggi, yaitu kutub fasa (untuk sirkit AC) dan kutub positif (untuk sirkit DC) dan rel kanan sebagai kutub netral (untuk sirkit AC) dan kutub negatif (untuk sirkit DC).

Gambar 2.34 Basic Diagram Ladder

Interpretasi Diagram Ladder

Gambar 2.35 meperlihatkan sirkit dasar diagram ladder. Dalam diagram ladder, setiap anak tangga (rung) terhubung pada sumber tegangan dan masing-masing anak tangga merupakan sirkit yang terpisah atau independen. Setiap anak tangga pada prinsipnya dapat memuat paling tidak satu set sakelar atau kontak rele dan biasanya hanya memiliki satu beban output seperti koil rele atau motor kecil.

Bila sebuah kontak yang terdapat pada suatu anak tangga tertutup maka sirkitnya menjadi tertutup, dan sirkit pada anak tangga tersebut menjadi aktif, akibatnya beban outputnya mendapat penguatan.

Sebagai contoh, anak tangga (jaringan) paling atas dalam Gambar 2.35 memiliki dua sakelar SW1 dan SW2 dan sebuah lampu pilot R yang terhubung seri. Agar anak tangga menjadi aktif, kedua sakelar tersebut harus tertutup, sehingga akan memberikan catu tegangan kepada lampu pilot.

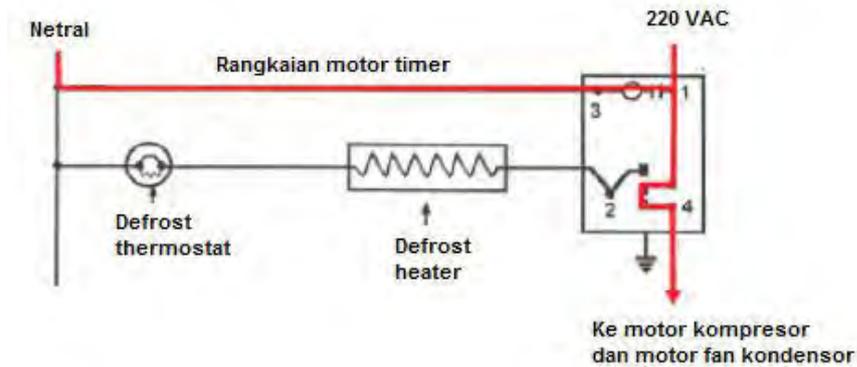
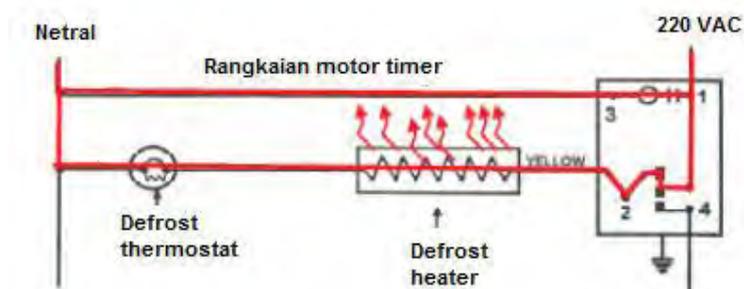
Jaringan kedua memiliki dua sakelar SW3 dan SW4 dalam paralel, sehingga hanya salah satu dari kedua sakelar tersebut harus tertutup untuk membuat sirkit pada anak tangga tersebut menjadi aktif.Sebagai beban pada anak tangga tersebut adalah koil rele A.

Gambar 2.35 Contoh rangkaian control dengan Diagram Ladder

Jaringan paling bawah memiliki satu set kontak (NO) dari rele A, dan sebuah motor sebagai bebannya. Konsekuensinya, bila SW 3 atau SW 4 pada jaringan kedua tertutup, maka koil rele A mendapat penguatan (aktif), dan motor pada jaringan paling bawah akan aktif (bekerja).

Dalam banyak hal, untuk menyatakan suatu sistem kendali harus membedakan sirkit daya dan sirkit kendali.Oleh karena itu, sirkit diagramnya dibagi menjadi dua, yaitu sirkit daya dan sirkit kendali. Sirkit daya untuk menggambarkan hubungan fungsional antara piranti output (misalnya motor atau elemen pemanas listrik) dan piranti kendali (misalnya kontaktor). Sedang sirkit kendali menggambarkan bagaimana fungsi logika atau algoritmanya. Tetapi dalam banyak kasus, beberapa pabrikan menggabungkan dua jenis rangkaian tersebut dalam satu diagram ladder seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2.35.

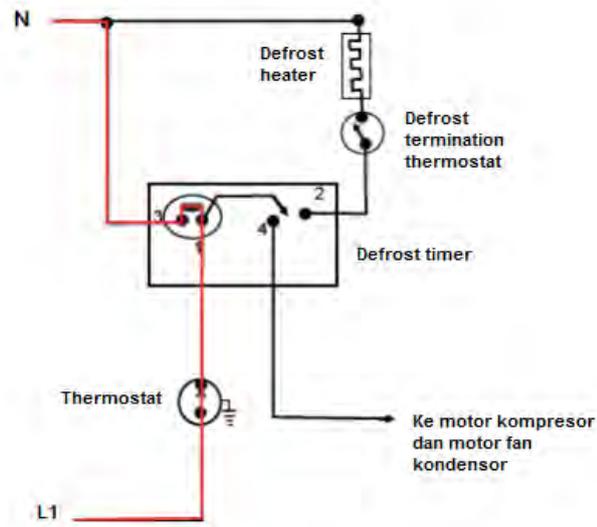
Tipikal Rangkaian Defrost Sistem Continuous run

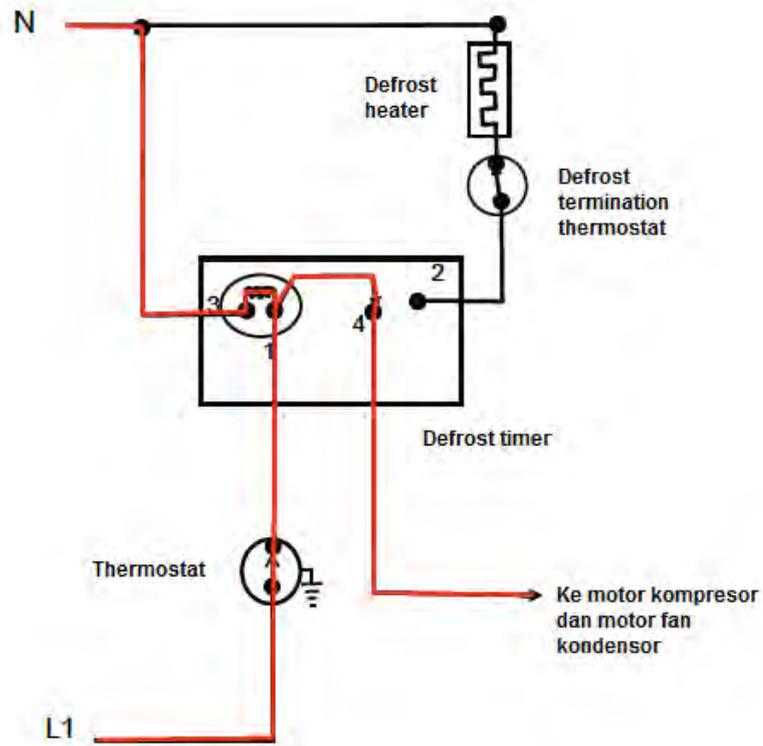
Gambar 2.36 memperlihatkan rangkaian defrost untuk konfigurasi *continuous run.* Pada konfigurasi ini, motor timer terhubung langsung ke jala-jala tegangan 220 VAC. Motor timer akan selalu aktif selama unit refrigeratornya terhubung ke jala-jala. Interval waktu defrost tergantung pada susunan roda gigi timer, biasanya siklus defrost akan berlangsung setiap 8, 10, atau 12 jam tanpa memperhitungkan kerja kompresor.

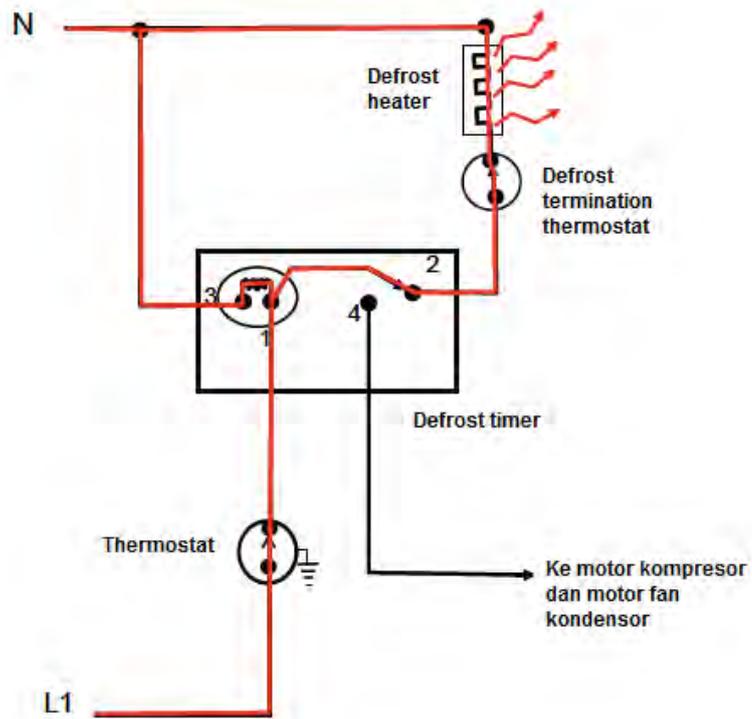
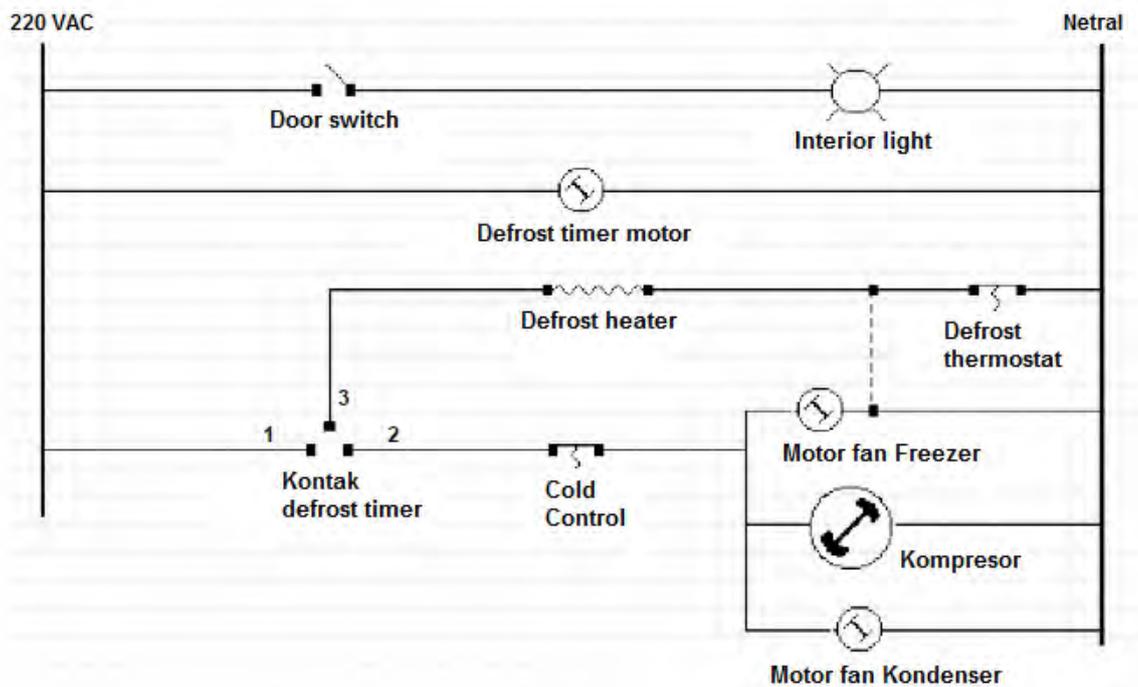
Pada saat unit refrigerator berada pada mode operasi normal, maka kontak 1 dan 4 tertutup, motor kompresor dan motor fan condenser mendapat catu daya listrik, sehingga bekerja. Setelah motor timer beroperasi beberapa jam sesuai dengan tata susun roda gigi timer, maka sistem defrost akan aktif. Pada kondisi ini kontak timer nomor 1 ke 4 terbuka dan kontak 1 ke 2 tertutup. Pada kondisi ini, motor kompresor & motor fan kondenser akan berhenti bekerja, dan defrost heater akan aktif.

(a)

(b)

Gambar 2.36 Rangkaian Konfigurasi Defrost *Continuos Run*

Sistem Cumulative Run

Sistem defrost yang menerapkan sistem *cumulative run timer*, maka motor timer dihubungkan seri dengan piranti pengontrol suhu (*thermostat*), sehingga hanya akan aktif jika kontak thermostat tertutup. Jika kontak thermostat tertutup, maka energi listrik ke motor akan disalurkan dari terminal L1, melalui kontak thermostat, menuju ke terinal 1 dari motor timer, terus ke terminal 3 dan kahirnya ke terminal netral. Gambar 2.37 memperlihatkan konfigurasi tersebut.

Gambar 2.37 Tipikal Rangkaian Defrost Cumulative Run

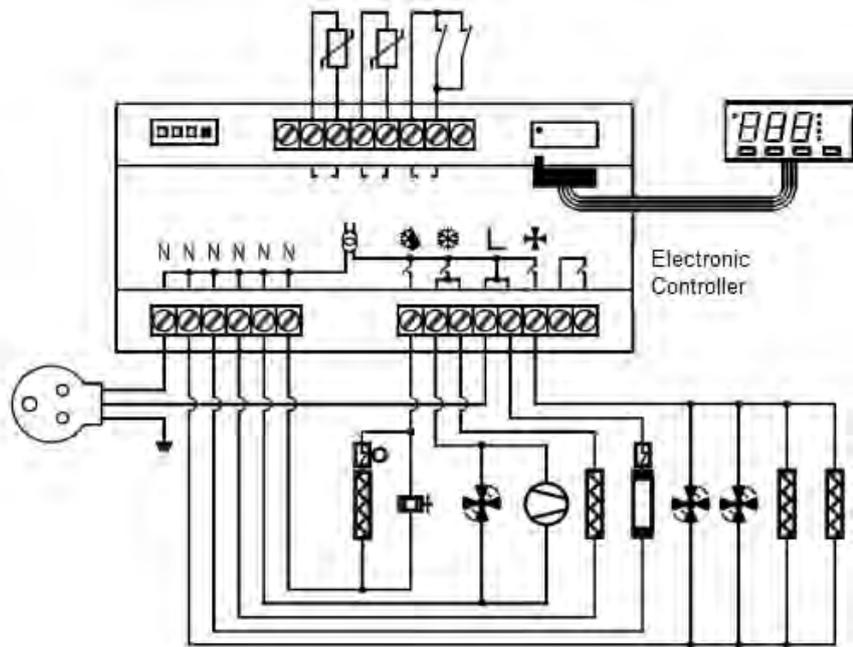
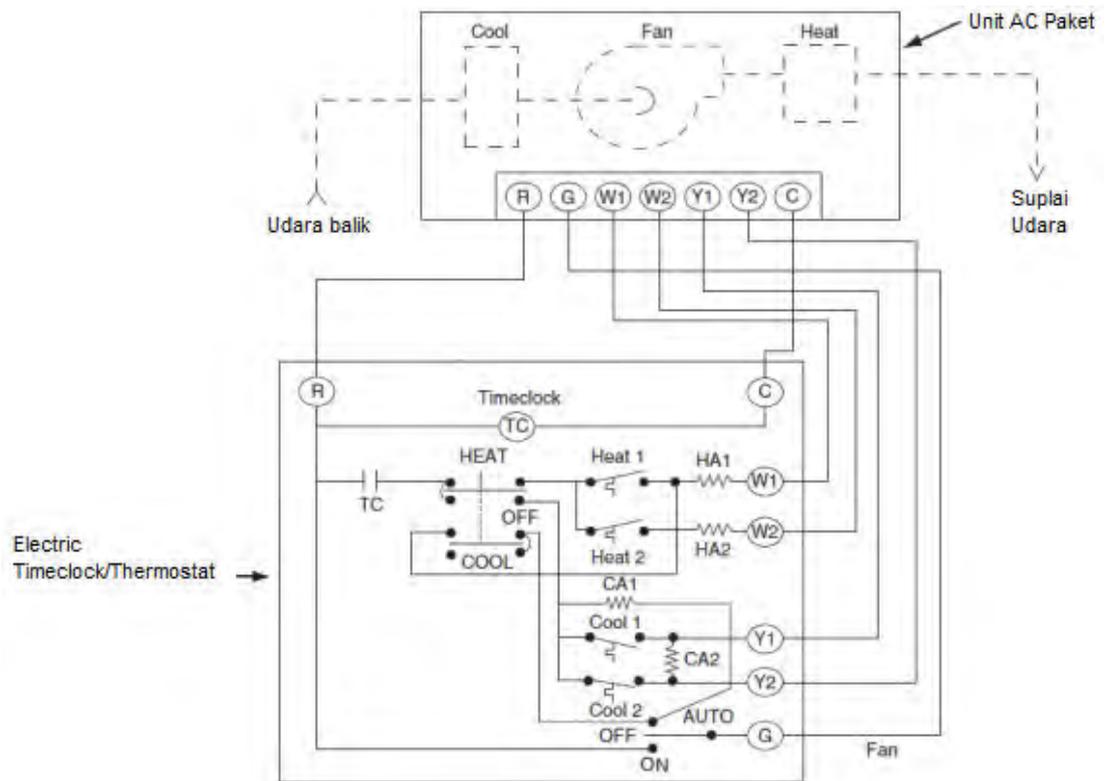
Ketika motor timer bekerja maka akan menggerakkan susunan roda gigi timer. Roda gigi timer dilengkapi dengan mekanisasi untuk merubah posisi kontak timer. Pada operasi pendinginan normal, maka kontak 1 dan 4 dari timer akan tertutup, sehingga energi listrik akan disalurkan ke motor kompresor, dan motor fan kondensor, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.38.

Gambar 2.38 Tipikal Rangkaian Defrost Cumulative Run

Setelah kompresor beroperasi selama 8 jam, maka kontak internal timer akan berpindah ke posisi defrost. Pada saat itu, kontak 1 dan 4 terputus dan kontak 1 dan 2 tertutup. Pada posisi ini elemen pemanas (*heater*) mendapat energi listrik. Elemen pemanas tetap mendapat energy hingga kontak defrost termination thermostat terbuka atau posisi defrost timer berpindah lagi ke posisi operasi pendinginan normal, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.39

Gambar 2.39 Tipikal Rangkaian Defrost Cumulative Run

Gambar 2.40 Contoh Tipikal Rangkaian Kontrol Unit refrigerator

10. Diagram Pengawatan

Diagram pengawatan atau *wiring diagram* memperlihatkan cara merepresentasikan suatu sirkit kendali secara fisikal, baik tata letak komponen dan koneksi antar komponen riil seperti keadaan sebenarnya. Karena diagram pengawatan memperlihatkan sistem kendali secara nyata, maka diagram ini lebih mudah dibaca oleh setiap orang dari pada diagram skematik. Untuk keperluan perakitan dan mungkin pelacakan gangguan diagram pengawatan akan dapat lebih membantu mempermudah dalam pelaksanaannya. Biasanya, untuk peralatan listrik berkapasitas kecil, diagram pengawatan selalu ditempelkan pada pintu panel kendalinya. Misalnya piranti motor starter, *Room AC*, dan *hoist* (pesawat angkat).

Untuk merepresentasikan sirkit kendali dari sebuah mesin peralatan listrik lainnya, lebih menguntungkan ditampilkan dalam bentuk diagram pengawatan daripada dalam bentuk diagram skematik. Karena dengan diagram pengawatan, akan memudahkan personil yang memakainya, untuk menemukan posisi terminal dan lokasi kabelnya.

Kadangkala, suatu pabrikan memberikan penjelasan tentang suatu peralatan yang dibuat melalui diagram koneksi (*connection diagram*), yang bertujuan untuk memudahkan pemakainya.Diagram ini dibuat untuk memperlihatkan koneksi secara fisik dari suatu peralatan listrik sederhana. Pada diagram pengawatan maka posisi terminal digambarkan mendekati keadaan sebenarnya, sehingga memudahkan para pembacanya. Gambar pengawatan ini selalu disetakan oleh pabrikannya, untuk mencegah terjadinya kesalahan penyambungan atau kesalahan koneksi. Gambar 2.41 memperlihatkan contoh diagram koneksi dari suatu piranti defrost timer elektronik.

Gambar 2.41 Diagram Koneksi

Gambar 2.42 Unit Paket dengan Electric Control

Ringkasan

Penggunaan simbol untuk merepre-sentasikan sistem kendali, membuat sirkit diagram menjadi lebih sederhana dan mudah dibaca.

Sebelum suatu diagram listrik industri dapat dipahami atau dibaca, terlebih dahulu harus memahami setiap simbol dan kode pengenal yang ada di dalam diagram tersebut.

Diagram ladder merupakan repre-sentasi sirkit kendali dalam bentuk skematik yang paling sederhana karena tidak banyak simbol yang digunakan. Yang lebih penting dalam diagram ladder adalah pemberian kode pengenal untuk membedakan komponen satu dengan komponen lain dan antara kontak satu dengan kontak lainnya. Dalam banyak hal, dibedakan sirkit daya dan sirkit kendali, untuk memudahkan interpretasinya.

Diagram pengawatan adalah representasi sirkit kendali secara fisik.Diagram ini memperlihatkan suatu sirkit kendali dengan lebih nyata mendekati keadaan sebenarnya.Biasanya hanya diterapkan untuk peralatan dengan fungsi kendali sederhana. Diagram garis tunggal adalah sebuah diagram yang dinyatakan dengan garis tunggal, biasanya diterapkan untuk menginformasikan sirkit daya.

Permasalahan

1. Deskripsikan empat jenis diagram yang lazim digunakan untuk menyam-paikan informasi dalam bentuk diagram!
2. Uraikan bagaimana prinsip diagram ladder!
3. Uraikan bagaimana prinsip diagram skematik!
4. Uraikan diagram koneksi!
5. Uraikan diagram ladder!
6. Uraikan prinsip wiring diagram!
7. Sebutkan keuntungan diagram pengawatan!
8. Gambarkan rangkaian kendali motor 3 fasa, dua arah putaran dengan menggunakan diagram ladder!
9. Gambarkan rangkaian kendali motor 3 fasa, dua arah putaran dengan menggunakan diagram skematik (versi IEC)!
10. Buat diagram pengawatan untuk peralatan refrigerator yang ada di rumahmu!

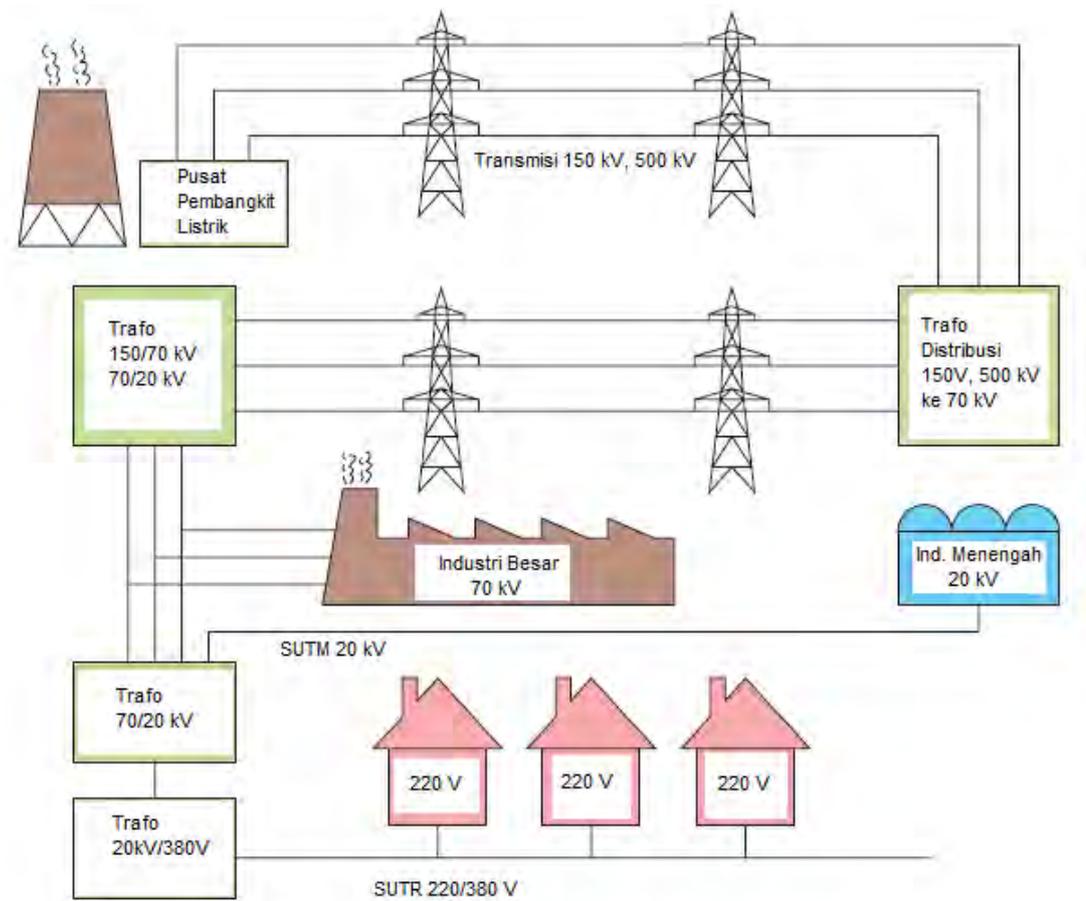
C. Kegiatan Belajar 3

Memeriksa Komponen dan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Tegangan Rendah

Peralatan refrigerasi dan tata udara menggunakan listrik untuk keperluan operasi dan kontrol. Kira-kira 80% panggilan pelanggan yang dilayangkan ke para praktisi dan teknisi lapangan didiagnosa sebagai masalah kelistrikan. Alat ukur listrik (meter listrik), dalam banyak kasus, digunakan untuk mendiagnosa masalah kelistrikan. Berbagai masalah kelistrikan yang timbul di industri menuntut teknisi industri untuk mampu menggunakan dan membaca alat ukur listrik. Meter listrik yang ada di pasaran sangat beragam baik dari fungsi, model dan batas ukurnya. Beberapa meter listrik digunakan untuk keperluan tertentu, sedang sebagian lagi digunakan untuk keperluan service dengan fungsi multi guna.

Para teknisi/mekanik yang memasang peralatan refrigerasi dan tata udara harus mampu memahami sistem distribusi daya yang ada di lokasi kerja. Yang tidak kalah pentingnya memahami juga sistem panel distribusi daya yang ada di lokasi kerja. Disamping itu kadang diperlukan juga menentukan kapasitas piranti pengaman yang harus dipasang pada peralatan refrigerasi dan tata udara yang baru dipasang.

1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Energi listrik yang digunakan oleh berbagai konsumen diperoleh dari sistem distribusi tenaga listrik yang dikelola oleh PLN melalui gardu distribusi yang memiliki transformator tenaga untuk menurunkan tegangan distribusi primer 20 kV, menjadi tegangan yang dibutuhkan oleh pelanggan. Transformator yang berada di gardu distribusi lazim disebut sebagai transformator distribusi. Gambar 3.1 memperlihatkan rangkaian sistem tenaga listrik, mulai dari pembangkit tenaga listrik (PTL), saluran udara tegangan tinggi (SUTT : 30 – 150 kV) dan saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET 500 kV), saluran udara tegangan menengah (SUTM 20 kV), dan saluran udara tegangan rendah (SUTR 220/380 V), hingga ke tempat konsumen.

Gambar 3.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Pusat tenaga listrik (PTL) umumnya terletak jauh dari pusat bebannya. Energi listrik yang dihasilkan di pusat pembangkitan disalurkan melalui jaringan transmisi. Tegangan generator pembangkit pada umumnya 6 kV – 24 kV. Untuk keperluan transmisi jarak jauh, maka tegangan generator ini dinaikkan dengan transformator daya ke tegangan yang lebih tinggi, yaitu untuk kategori tegangan tinggi antara 30 kV - 150 kV, dan untuk kategori tegangan ekstra tinggi adalah 500 kV. Tujuan peningkatan tegangan ini, selain mempebesar daya hantar dari saluran (berbanding lurus dengan kwadrat tegangan), juga untuk memperkecil rugi daya dan rugi tegangan pada saluran transmisi.

Penurunan tegangan dari jaringan tegangan tinggi/ekstra tinggi sebelum ke konsumen dilakukan dua kali. Yang pertama dilakukan di gardu induk (GI), menurunkan tegangan dari 500 kV ke 150 kV atau dari 150 kV ke 70 kV. Yang kedua dilakukan pada gardu induk distribusi dari 150 kV ke 20 kV atau dari 70 kV ke 20kV. Saluran listrik dari sumber pembangkit tenaga listrik sampai transformator terakhir, sering disebut juga sebagai saluran transmisi, sedangkan dari transformator terakhir, sampai konsumen terakhir disebut saluran distribusi. Ada dua macam saluran transmisi/distribusi PLN yaitu saluran udara (*overhead lines*) dan saluran bawa tanah (*underground*).

Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah:

- pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat pelanggan
- merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV ,154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir (I kwadrat R). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi

sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan trafo-trafo step-up. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV,UHV,EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahalnya harga perlengkapan-perlengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo-trafo step-down. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda.

Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan seperti pada Gambar diatas:

Daerah I : Bagian pembangkitan (Generation)

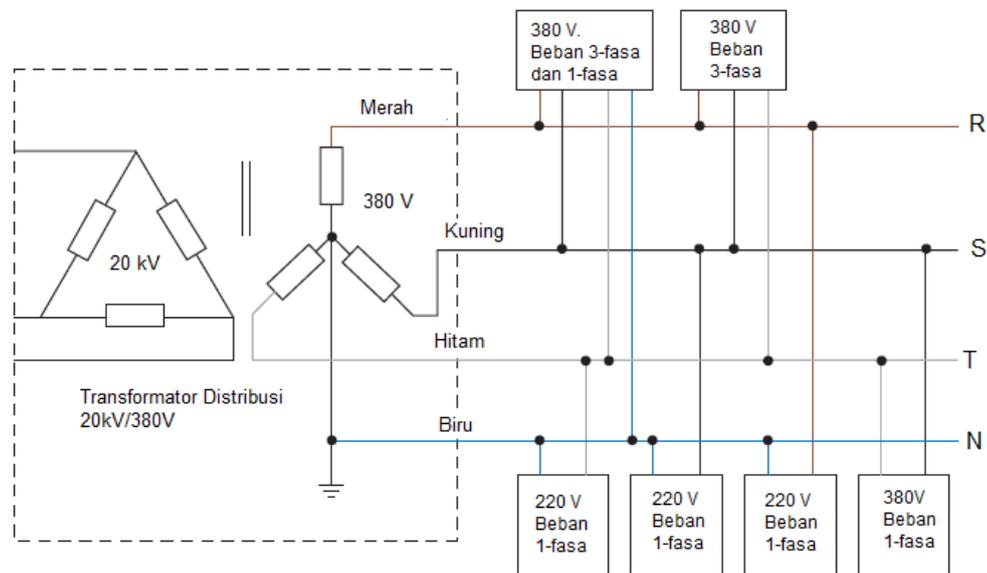
Daerah II : Bagian penyaluran (Transmission) , bertegangan tinggi (HV,UHV,EHV)

Daerah III : Bagian Distribusi Primer, bertegangan menengah (6 atau 20kV).

Daerah IV : (Di dalam bangunan pada beban/konsumen), Instalasi, bertegangan rendah.

Untuk keperluan pemasangan instalasi sistem refrijerasi dan tata udara, maka yang perlu dipahami oleh semua para teknisi dan mekanik yang bergerak di bidang refrijerasi dan tata udara adalah Daerah IV, yakni distibusi tenaga listrik tegangan rendah pada sisi konsumen. Lazimnya, distribusi tenaga listrik pada sisi konsumen dapat berupa dua sistem tegangan, yaitu: (1) sistem satu fasa dengan tegangan 220 V, dan (2) sistem tiga fasa dengan tegangan 220V/380V.

Gambar 3.2 memperlihatkan system tenaga listrik, mulai dari transformator distribusi hingga ke pemakaian. Terlihat dalam gambar, sebuah transformator distribusi, di

mana pada sisi primer bertegangan 20 kV, dan pada sisi sekundernya bertegangan 380 V, 3-fasa, dengan titik bintang transformator dihubungkan ke tanah.

Gambar 3.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Energi listrik didistribusikan mulai dari transformator distribusi yang terletak di gardu distribusi menuju ke tempat konsumen atau pelanggan yang memerlukannya. Fungsi transformator distribusi adalah menurunkan tegangan distribusi primer sebesar 20 kV ke tegangan pemakaian yaitu 220V/380V. Belitan primer transformator distribusi disambung dalam hubungan segitiga dan memiliki tegangan 20kV, sedang belitan sekundernya, disambung dalam hubungan bintang, di mana titik bintangnya dihubungkan ke tanah, sehingga dapat memperoleh dua sistem tegangan yaitu tegangan sistem 1-fasa sebesar 220 V atau 380 V, dan tegangan sistem 3-fasa 380V. Dengan system seperti ini maka para konsumen memiliki beberapa alternatif untuk menggunakan energy listrik dari PLN.

Sistem tegangan 380 V, 3-fasa biasanya digunakan oleh konsumen untuk keperluan komersial dan industri, misalnya sekolah, kantor, hotel, supermarket dan industri. Sedang sistem tegangan 220 V, 1-fasa lazim digunakan oleh konsumen

domestik untuk keperluan rumah tangga. Pemberian kode pada penghantar dilakukan sebagai berikut:

Kode L1 untuk penhantar fasa pertama atau fasa R

Kode L2 untuk penghantar fasa kedua atau fasa S

Kode L3 untuk penghantar fasa ketiga atau fasa T

Kode N untuk penghantar netral

Kode PE untuk penghantar pentanahan atau pembumian

Gambar 3.3 memperlihatkan diagram satu garis sistem distibusi tenaga listrik tegangan rendah sistem tiga fasa. Dalam diagram satu garis tersebut terlihat ada tiga panel distribusi daya dan satu panel distribusi daya utama. Pembuatan diagram satu garis untuk sistem distribusi daya sudah menjadi kelaziman di dunia ketenagalistrikan. Distribusi tenaga listrik yang ada pada sistem tersebut digunakan untuk dua keperluan, yaitu untuk keperluan penerangan, dan untuk keperluan daya, dalam hal ini untuk kotak kontak (stop kontak) dan untuk keperluan memberi daya ke motor-motor listrik (M). Dalam setiap panel distribusi daya, maka kotak panel harus selalu terhubung dengan sistem pentanahan atau pembumian atau arde.

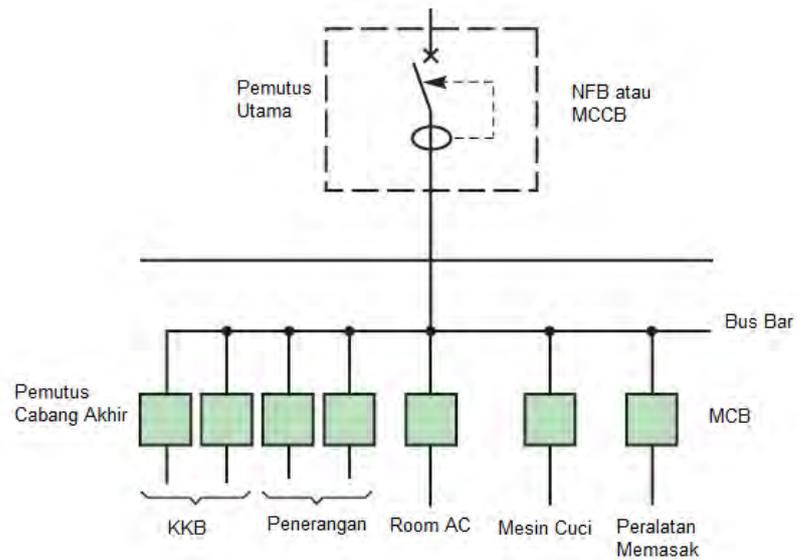
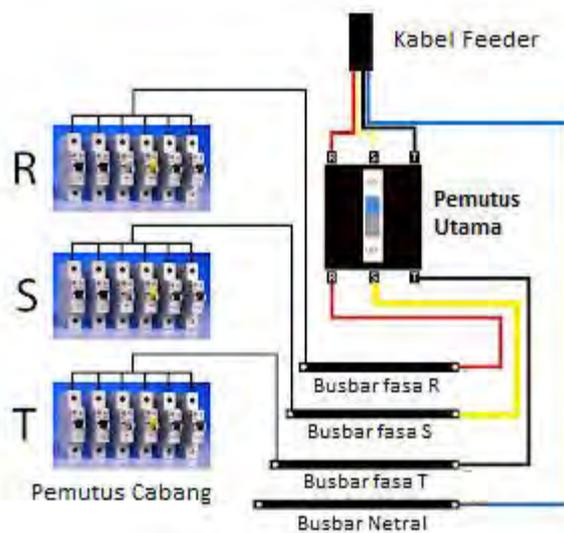
Gambar 3.3 Diagram Satu Garis Sistem Distribusi Tenaga Listrik Tegangan Rendah

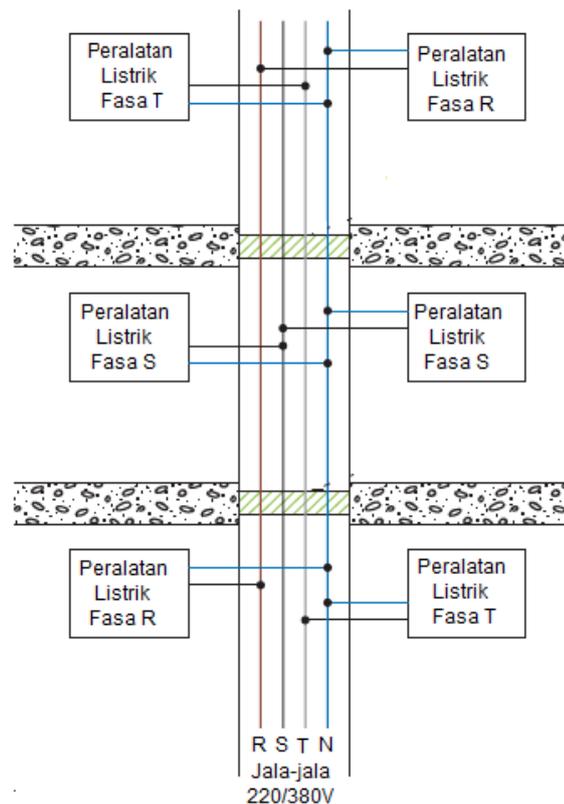
2. Panel Distribusi Tenaga Listrik

Pada instalasi pemanfaatan tenaga listrik untuk keperluan domestik, biasanya menggunakan system satu fasa tegangan 220 V. Sebagai rangkaian akhir dari instalasi listrik tersebut adalah lampu, kotak kontak (socket), peralatan memasak, peralatan pendingin ruangan, refrigerator dll, yang dihubungkan secara terpisah melalui panel hubung bagi (PHB). Pada instalasi pemanfaatan tenaga listrik untuk keperluan komersial dan industri biasanya menggunakan system 3 fasa tegangan 220 V/380 V. Sistem pengawatan industri dikonstruksi secara kuat sehingga memiliki ketahanan terhadap gangguan mekanik dan getaran, dan mampu beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya.

Panel distribusi daya, berisi 2 jenis komponen listrik, yaitu piranti pemutus utama (main circuit breaker), dan piranti pemutus cabang. Piranti pemutus utama berfungsi sebagai komponen pengaman pada sisi input, dan pemutus cabang yang berfungsi sebagai pengaman rangkaian cabang akhir. Panel hubung bagi biasanya diletakkan di dekat pusat beban, agar penggunaan kabel feeder utama sependek mungkin. Gambar 3.7 memperlihatkan diagram skematik sebuah panel hubung bagi (PHB). Panel hubung bagi merupakan sebuah panel listrik yang digunakan untuk mendistribusikan tenaga listrik ke berbagai peralatan pemanfaatan tenaga listrik

Panel distribusi tenaga listrik atau lazim disebut juga sebagai Panel Hubung Bagi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik bertujuan menyalurkan tenaga listrik dari panel distribusi utama, dan panel sub distribusi hingga ke pemanfaatan tenaga listrik secara berimbang. Disebut panel hubung bagi, karena melalui panel inilah tenaga listrik didistribusikan hingga ke pemakaian dengan mempertimbangkan keseimbangan pembebanan setiap penghantar fasa. Misalnya suatu system tenaga listrik pada suatu tempat kerja memiliki distribusi tenaga listrik untuk mencatu tenaga listrik ke system pemakaiannya sebagai berikut: tenaga listrik didistribusikan melalui panel distribusi tenaga listrik, di mana pembagian beban pada setiap penghantar fasa diatur agar mendekati keseimbangan,

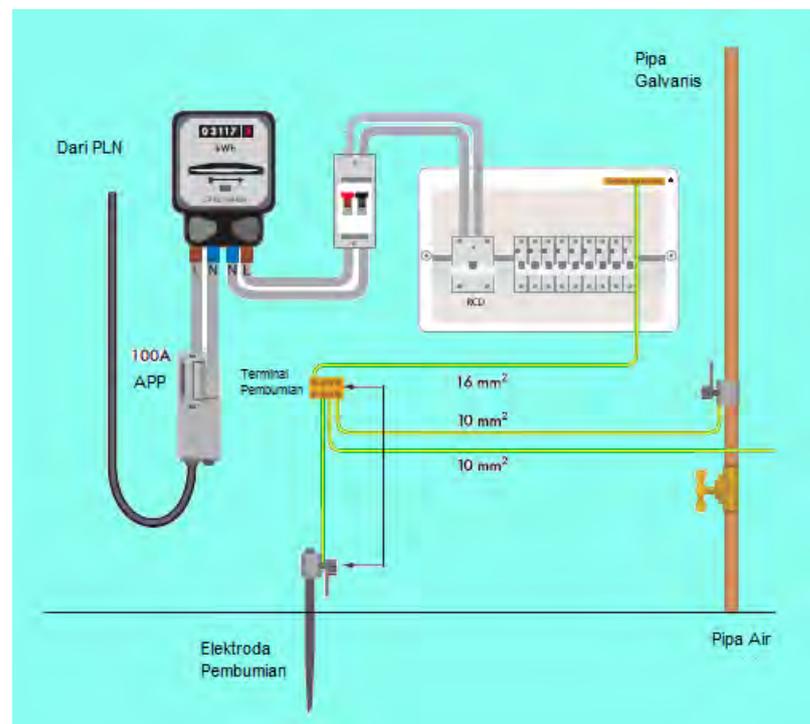
yaitu beban pada fasa R sebesar 16A, beban pada fasa S sebesar 16A, dan beban pada` fasa T sebesar 18A.

(a) Diagram Satu Garis Panel Distribusi Daya

(b) Diagram Tata Letak Panel Distribusi Daya

Gambar 3.4 Tipikal Sistem Tenaga Listrik di lokasi Konsumen

Gambar 3.5 Tipikal Sistem Tenaga Listrik di lokasi Konsumen

Distribusi beban pada setiap penghantar fasa sebaiknya diusahakan mendekati titik keseimbangan. Perbedaan beban pada setiap penghantar fasa tidak boleh terlalu besar, misalnya beban fasa R sebesar 5A, beban fasa S sebesar 10A, dan beban fasa T sebesar 35A. Gambar 3.5 meperlihatkan tipikal pembagian beban agar pembebanan pada setiap fasa menjadi seimbang.

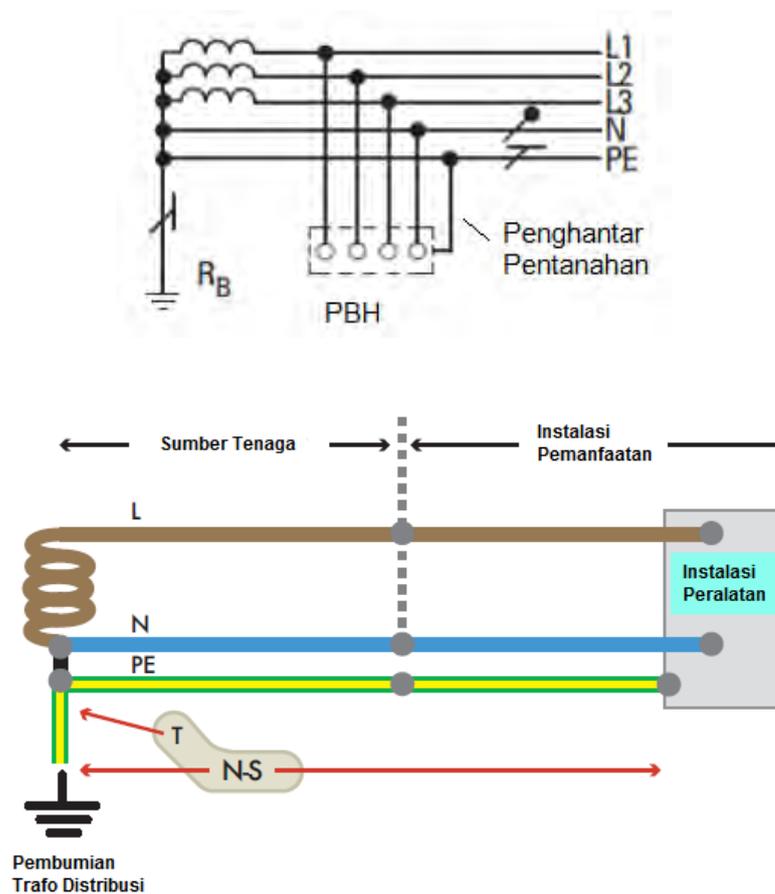
Gambar 3.6 memperlihatkan tipikal sistem tenaga listrik di suatu pelanggan PLN, dalam hal ini Konsumen mengambil tenaga listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) sistem tiga fasa 220/380 V, dengan arus maksimum 100 A. Sistem tenaga listrik pada setiap pelanggan PLN, terdiri dari Alat Pengaman & Pembatas (APP), kWh-meter,dan Panel Hubung Bagi (PHB). Alat pengaman berfungsi untuk mengamankan instalasi tenaga listrik dari bahaya hubung singkat sedang alat pembatas berfungsi membatasi besarnya arus yang dikonsumsi oleh pelanggan. Bila pelanggan melanggar ketentuan ini maka alat pembatas akan bekerja memutuskan

catu daya listriknya. Panel hubung bagi berfungsi untuk membagi beban listrik agar pembebanan antar penghantar fasa seimbang.

Pada stiap PHB, minimal terdiri dari satu unit piranti pemutus beban utama (main breaker), dan beberapa unit piranti pemutus beban cabang (sub main breaker). Besarnya nilai arus pemutus utama biasanya sama dengan nilai arus pada alat pembatas yang dipasangoleh PLN. Sedang besar nilai arus pemutus cabang, disesuaikan dengan daya peralatan listrik yang dicatunya.

Gambar 3.6 Tipikal Sistem Tenaga Listrik di lokasi Konsumen

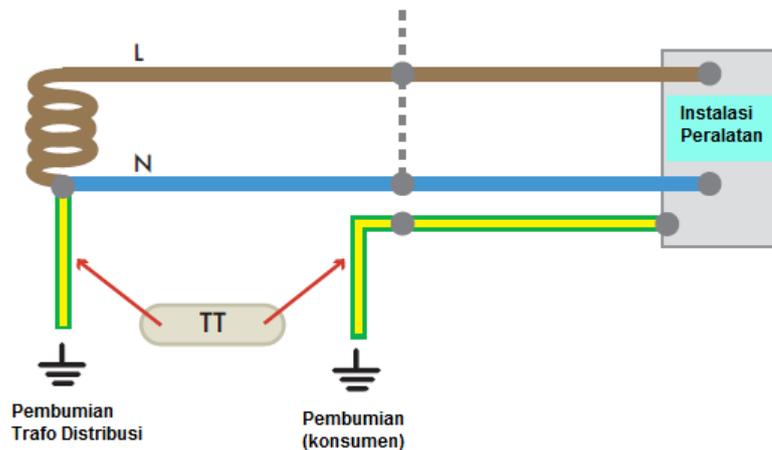
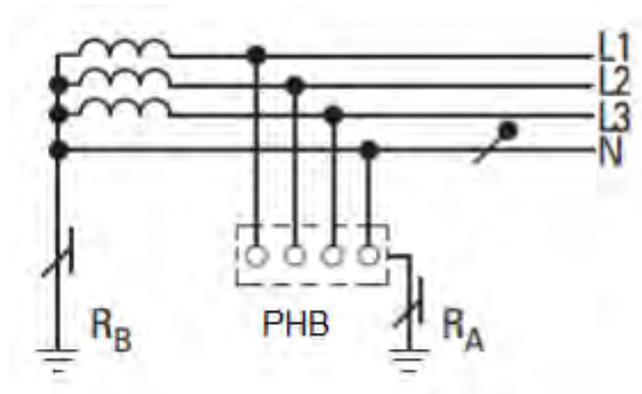
3. Sistem Pembumian Netral atau sistem TN

Pada prakteknya, dilihat dari sisi sistem pentanahan yang digunakan, dapat dibedakan menjadi dua, yaitu: Sistem Pembumian Netral atau sistem TN, dan sistem Pembumian Pengaman atau sistem TT. Sistem Pembumian tersebut biasanya diterapkan pada transformator distribusi, baik pada gardu maupun pada tiang listrik yang ada di pinggir jalan.

Gambar 3.7 memperlihatkan diagram skematik sistem TN. Pada sistem ini, titik bintang transformator distribusi dibumikan dan langsung terhubung ke elektroda pembumian (RB). Titik pembumian atau pentanahan. Penghantar netral dan penghantar pentanahan langsung dihubungkan ke titik pentanahan tersebut. Dalam sistem setiap panel PHB atau panel kontrol kabel pembumiannya tidak perlu dihubungkan ke elektroda pembumian secara khusus, tetapi cukup dihubungkan ke penghantar pentanahan (PE) yang sudah ada di dalam system tersebut. Sistem ini banyak diterapkan, khususnya di Indonesia.

Gambar 3.7 Sistem TN

4. Sistem Pembumian Pengaman atau sistem TT

Gambar 3.8 memperlihatkan diagram skematik sistem TT. Pada system ini, titik bintang transformator distribusi dibumikan dan terhubung langsung elektroda pembumian (RB). Penghantar netral langsung dihubungkan ke titik pentanahannya,

Sistem ini tidak dilengkapi dengan penghantar pembumian (Arde). Semua PHB yang terpasang pada system ini harus dilengkapi dengan kabel pembumian yang langsung terhubung pada elektroda pembumian (RA). Sistem jarang diterapkan, karena pada setiap PHB harus dilengkapi dengan elektroda pembumian, jadi dinilai kurang efisien.

Gambar 3.8 Sistem TT

Kerja Proyek 1:

Distribusi sistem tenaga listrik pada sisi konsumen terdiri dari dua sistem, yaitu (1) sistem satu fasa, dan (2) sistem tiga fasa. Tugas kalian kali ini adalah memotret atau mensketsa sistem distribusi tenaga listrik pada sisi konsumen yang ada di sekolah

kalian atau tempat lain yang ada di dekat sekolah kalian. Untuk itu kalian harus mengumpulkan berbagai informasi yang relevan, sebagai landasan berfikir untuk menginvestigasi dan mensketsa sistem distribusi tenaga listrik di sisi konsumen. Petunjuk: Yang perlu kalian investigasi adalah berapa kapasitas pemutus (breaker) utama (in going breaker) dan berapa kapasitas pemutus cabang (out going breaker) dan jumlahnya, dan berapa ukuran kabel pada pemutus utama dan pemutus cabang. Setelah selesai buat laporan pelaksanaan pekerjaan.

Kerja Proyek 2:

Distribusi sistem tenaga listrik pada sisi konsumen terdiri dari dua sistem, yaitu (1) sistem satu fasa, dan (2) sistem tiga fasa. Tugas kalian kali ini adalah mendemonstrasikan penggantian atau penambahan pemutus arus (circuit breaker) pada papan distribusi tenaga listrik pada sisi konsumen yang ada di sekolah kalian atau tempat lain yang ada di dekat sekolah kalian. Untuk itu kalian harus mengumpulkan berbagai informasi yang relevan, sebagai landasan berfikir untuk menginvestigasi prosedur penambahan atau penggantian pemutus arus pada papan distribusi tenaga listrik di sisi konsumen. Petunjuk: Yang perlu kalian investigasi adalah berapa kapasitas pemutus (breaker) utama (in going breaker) dan berapa kapasitas pemutus cabang (out going breaker) dan jumlahnya, dan berapa ukuran kabel pada pemutus utama dan pemutus cabang yang diperlukan. Setelah selesai buat laporan pelaksanaan pekerjaan.

D. Kegiatan Belajar 4

Memasang Instalasi Kotak Kontak

1. Peraturan Umum

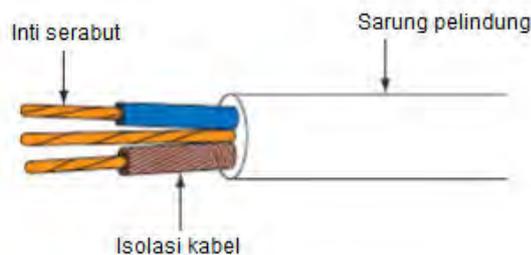
Pemasangan instalasi kotak kontak (KK) baik untuk kotak kontak biasa (KKB) dan untuk kotak kontak khusus (KKK) untuk keperluaan pencatuan daya bagi peralatan refrigerasi dan tata udara tidak boleh dilakukan dengan sembarangan. Di Indonesia, regulasi pemasangan instalasi listrik sudah diatur dalam PUIL (Peraturan Umum Instalasi Listrik). PUIL mengatur pemasangan instalasi kotak kontak sebagai berikut:

- KKB atau KK fase tunggal atau fasa tiga dengan kemampuan maksimal 10 A, maka jumlah titik sambung yang diijinkan 3 (tiga) jika diamankan dengan pemutus (MCB) 16 A, 4 (empat) jika diamankan dengan MCB 20 A, 6 (enam), jika diamankan dengan MCB 25 A.
- KKB atau KK fase tunggal atau fasa tiga dengan kemampuan maksimal 15 A, maka jumlah titik sambung yang diijinkan 1 (satu) jika diamankan dengan MCB 16 A, 2 (dua) jika diamankan dengan MCB 25 A, 4 (empat) jika diamankan dengan MCB 32 A.
- KKB atau KK fase tunggal atau fasa tiga dengan kemampuan maksimal 20 A, maka jumlah titik sambung yang diijinkan 1 (satu) jika diamankan dengan MCB 20/25 A, 2 (dua) jika diamankan dengan MCB 32 A.
- Jika peralatan yang akan dipasang memerlukan arus yang lebih besar dari 20 amper, maka harus dipasang langsung tanpa melalui kotak kontak.
- Kabel penghantar yang digunakan minimal berukuran 2,5 mm^2.
- Kabel penghantar kurang dari 2,5 mm2, tidak boleh disambungkan KKB atau KK fase tunggal 15A atau 20 A.

2. Kabel Listrik

Kabel listrik dapat dikatakan memiliki konstruksi yang hampir sama, terdiri dari tiga bagian, yaitu konduktor, yang memiliki luas penampang tertentu untuk dapat memikul arus beban dengan aman tanpa menimbulkan pemanasan berlebihan,

isolasi kabel, yang memiliki warna tertentu untuk memudahkan mengidentifikasi jenis dan fungsinya, dan yang ketiga adalah pelindung luar, untuk melindungi kabel terhadap ganggan mekanik dari luar.

Konduktor dapat dibuat dari tembaga atau aluminium, dan dapat berupa inti tunggal atau inti banyak (serabut) yang dipilin jadi satu. Konduktor inti tunggal (*solid conductor*) hanya digunakan dalam instalasi tetap. Konduktor serabut (*stranded conductor*) lebih fleksibel penggunaannya, ukuran kabel mulai 4.0 hingga 25 mm^2 terdiri dari 7 inti. Sebagai contoh, konduktor serabut ukuran 10 mm^2 terdiri dari 7 inti berdiameter 1.35 mm yang dipilin sehingga luas penampang total menjadi 10 mm^2. Konduktor di atas 25 mm^2 biasanya jumlah inti lebih dari tujuh, tergantung ukuran kabelnya.

Gambar 4.1 Tipikal Kabel Listrik

Standarisasi Warna Kabel

Penetapan Standarisasi warna kabel bertujuan untuk memudahkan para perancang dan pelaksana yang bergerak di bidang instalasi pemanfaatan tenaga listrik, dan untuk menghindarkan kesalahan penyambungan yang dapat berakibat fatal.

Berikut ini diberikan standarisasi warna kabel di eropa:

Penghantar	Standar Lama	Standar Baru	Kode Penghantar
Phase 1	Merah	Cokelat	L1
Phase 2	Kuning	Hitam	L2
Phase 3	Biru	Kelabu	L3
Neutral	Hitam	Biru	N
Pembumian	Hijau-kuning	Hijau-kuning	PE

Untuk Indonesia berlaku standarisasi warna kabel, sebagai berikut:

- Untuk sistem 1-fasa: warna merah untuk kabel fasa, warna biru untuk kabel netral, dan warna hijau-kuning untuk kabel pentanahan.
- Untuk system 3-fasa: Warna merah, kuning, dan hitam untuk kabel fasa, warna biru untuk kabel netral, dan warna hijau-kuning untuk kabel pentanahan

Pemasangan Kabel

Kabel listrik untuk keperluan instalasi tenaga listrik biasanya menggunakan kabel berisolasi PVC dan atau sarung pelindung. Pemasangan instalasi dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu (1) di dalam pipa dan ditanam langsung di tembok, menggunakan pipa diluar tembok, dan mengunakan *cable duct* (trunking). Bila dipasang dengan pipa di luar tembok dapat dilakukan secara vertical atau horizontal. Pipa harus diklem dengan menggunakan klem pipa standar, dengan jarak tertentu agar pipa dapat terpasang dengan kokoh. Pemasangan pipa secara diagonal tidak dianjurkan.

Terminasi kabel baik di dalam kotak sambung, kotak sakelar, dan kompoen lain harus dilakukan dengan kuat dan kokoh. Sambungan yang tidak kuat dan kokoh dapat menimbulkan bunga api yang dapat memicu kebakaran. Untuk mencegah bahaya kebakaran, pemeriksaan sambungan kabel diseluruh instalasi listrik perlu dilakukan secara rutin.

Pemasangan penghantar harus dilakukan sedemikan rupa sehingga instalasi itu tahan terhadap pengaruh gaya elektrodinamik dan pembebanan thermos yang dapat merusak isolasi kabel saat terjadi hubung singkat. Untuk melaksanakan pemasangan yang baik, harus dipilih penghantar yang memenuhi persyaratan ditinjau dari Kuat Hantar Arus (KHA), kekuatan isolasi, dan pembebaban mekanis sesuai persyaratan yang berlaku.

Jenis Kabel

Jenis kabel daya untuk pemasangan instalasi tegangan rendah secara permanent, terdapat beberapa pilihan, yaitu NYA, NYM, NYY, dan NYFGbY.

Kabel NYA, adalah kabel tembaga berisolasi PVC, berinti tunggal, berukuran mulai dari 1 mm^2 hingga 500 mm^2. Tersedia dalam beberapa warna, yaitu merah, kuning, hitam, biru, dan hijau-kuning. Kabel NYA disesain untuk digunakan pada lokasi kering, dipasang di dalam pipa baik di dalam ataupun di luar tembok. Tidak boleh ditanam secara langsung ditembok tanpa pipa, atau di tempat lembab, dan di luar bangunan.

Kabel NYM, adalah kabel tembaga berisolasi PVC, dan dilindungi dengan sarung kabel ganda, sarung kabel bagian luar biasanya berwarna putih. Tersedia dalam lima pilihan, yakni inti tunggal, inti ganda, inti tiga, inti empat, dan inti lima, berukuran mulai dari 1 mm^2 hingga 35 mm^2, berinti tunggal atau serabut . Digunakan pada lokasi di mana diperkirakan terdapat bahaya tekanan mekanik tinggi, bahaya api dan bahaya ledakan. Dapat dipasang di dalam pipa baik di dalam ataupun di luar tembok, di tempat kering atau lembab, dan di luar bangunan.

Kabel NYY, adalah kabel tembaga berisolasi PVC, dan dilindungi dengan sarung kabel ganda, sarung kabel bagian luar biasanya berwarna hitam. Tersedia dalam lima pilihan, yakni inti tunggal, inti ganda, inti tiga, inti empat, dan inti lima, berukuran muai dari 1 mm^2 hingga 50 mm^2. Digunakan sebagai kabel daya (feeder), Dapat dipasang di dalam kabel duct ataupun di tempat terbuka. Dapat dipasang di dalam tanah dengan perlindungan.

Kabel NYFGbY, adalah kabel tembaga berisolasi PVC, dan dilindungi dengan sarung kabel ganda dan lapisan plat baja. Tersedia dalam lima pilihan, yakni inti tunggal, inti ganda, inti tiga, inti empat, dan inti lima, berukuran muai dari 1 mm^2 hingga 300 mm^2. Digunakan sebagai kabel daya (feeder) pada gardu distribusi. Dapat dipasang di dalam kabel duct ataupun di tempat terbuka.Dapat dipasang di dalam tanah.

3. Pipa Instalasi Listrik

Pipa untuk keperluan instalasi listrik pada umumnya terbuat dari PVC. Ada juga pipa listrik yang terbuat dari baja. Pipa listrik ini berfungsi melindungi konduktor dari gangguan mekanik. Pemasangan instalasi listrik dengan pipa listrik dapat dilakukan dengan mudah dan memberikan keamanan penuh terhadap gangguan mekanik, sehingga membuat cara ini menjadi sangat popular.

Pemasangan pipa instalasi harus sedemikian rupa sehingga penghantar dapat ditarik dengan mudah setelah pipa dan kelengkapannya dipasang, serta penghantar dapat diganti dengan mudah tanpa harus membongkar sistem pemipaannya. Ketetapan ini hanya berlaku bagi penghantar yang memiiki luas penampang di bawah 10 mm^2.
Pipa instalasi yang terbuat dari logam dan dipasang di luar dinding (terbuka) yang terdapat dalam jangkauan tangan harus dibumikan dengan baik, kecuali bila penghantar yang digunakan mempunyai isolasi ganda (misalnya NYM, dan NYY), atau digunakan hanya untuk menyelubungi kawat pembumian.

Pipa instalasi harus dipasang tegak lurus (vertical) atau mendatar (horizontal). Pipa instalasi harus dipasang dengan kokoh dan kuat dengan menggunakan klem pipa yang jarak antar klem tidak boleh lebih dari 1 meter.

4. Perhitungan Ukuran Kabel & Piranti pengaman

Seperti diketahui, arus listrik yang mengalir di dalam suatu bahan listrik dapat menimbulkan suatu usaha atau energi, yaitu energi panas, Energi panas ini akan menaikkan suhu konduktor. Oleh karena itu ketika akan melakukan pemasangan instalasi peralatan refrigerasi & tata udara, perlu mempertimbangkan ukuran kabel yang akan dipakai berikut piranti pengaman instalasi (circuit breaker). Ukuran kabel harus ditentukan secara tepat agar pemanasan yang timbul pada konduktornya tidak berlebihan sehingga dapat merusak isolasi kabel dan agar kerugian tegangan yang diakibatkan oleh resistansi kabel tida melebihi 5% dari tegangan nominalnya.

Bila seorang personil akan memasang unit tata udara baru, 16 HP, 380V system 3 fasa pada suatu sistem instalasi tenaga listrik, maka hal penting yang harus menjadi pertimbangan adalah menentukan besarnya piranti pengaman dan penampang kabel yang akan digunakan.

Berikut ini diberikan cara perhitungan sederhana untuk menentukan ukuran kabel, agar sesuai dengan kekuatan hantar arus tanpa menimbulkan kenaikan suhu yang berlebihan.

Langkah 1: Menghitung arus

Menghitung atau menentukan arus yang mengalir di konduktor yang akan digunakan. Untuk ini dapat dilihat pada pelat nama peralatan yang akan dipasang. Bila tidak ada maka harus dihitung dengan menggunakan formula : I = P/U, di mana I adalah nilai arus yang melewati konduktor, P adalah daya listrik yang dimiliki oleh alat listrik yang akan dipasang, dan U adalah tegangan kerja alat.

Untuk Room AC, 16 HP, 380 V, maka besar arus yang akan dikonsumsi oleh peralatan Room AC tersebut sebagai berikut:

Daya listrik = 16 x 736 watt = 11.776 watt

Arus listrik = 11.776 / 380 x 1,73 amper = 17 amper

Langkah 2: Menentukan ukuran kabel

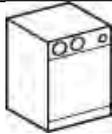
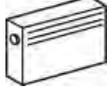
Karena unit room AC memerlukan catu daya listrik sistem 3 fasa, maka memerlukan kabel yang memiliki 5 konduktor, masing-masing untuk penghantar fasa R, Fasa S, fasa T, penghantar netral (N), dan penghantar pembumian (PE). Pada tabel 1 untuk kabel berisolasi PVC, ukuran 2,5 mm2 mampu memikul arus maksimum sebesar 20 A, pada pemsangan instalasi listrik dengan pipa. Jadi untuk memasang room AC tersebut diperlukan kabel berisolasi PVC, dengan ukuran 4 x 2,5 mm2, dipasang di dalam pipa.

Langkah 3: Menentukan ukuran Pengaman

Setiap memasang instalasi listrik untuk peralatan refrigerasi & tata udara disamping harus menentukan ukuran kabel,yang tidak boleh dilupakan adalah menentukan

ukuran piranti pengaman. Piranti pengaman jaringan listrik yang lazim digunakan adalah fuse atau MCB. Ukuran MCB ditentukan berdasarkan kebutuhan arus peralatan listrik yang akan dipasang, dikalikan 115%. Untuk jaringan instalasi pada contoh di atas, maka ukuran piranti pengaman adalah 17A x 1,15 = 19,55 A sehingga ditetapkan ukuran pengaman adalah 20A.

Tabel 1. Ukuran kabel & Piranti Pengaman Berbagai Peralatan Listrik

Jenis rangkaian Satu Fasa 220 V		**Ukuran Konuktor**	**Daya Maksimum**	**Ukuran Piranti Pengaman**	
Rangkaian Penerangan		1,5 mm^2 (2,5 mm^2)	2.300 W	MCB Fuse	16 A 10 A
Kotak Kontak		2.5 mm^2 (4 mm^2)	4,600 W	MCB Fuse	25 A 20 A
Water heater		2.5 mm^2 (4 mm^2)	4,600 W	MCB Fuse	25 A 20 A
Mesin Cuci Piring		2.5 mm^2 (4 mm^2)	4,600 W	MCB Fuse	25 A 20 A
Mesin Cuci Pakaian		2.5 mm^2 (4 mm^2)	4,600 W	Circuit-breaker Fuse	25 A 20 A
Cooker atau hotplate		6 mm^2 (10 mm^2)	7,300 W	Circuit-breaker Fuse	40 A 32 A
Pemanas Ruangan		1.5 mm^2 (2.5 mm^2)	2,300 W	Circuit-breaker Fuse	16 A 10 A

Tabel 2. KHA untuk Kabel berisolasi thermopalstik (PVC) menurut standar IEE.

No	Ukuran	Kemampuan Hantar Arus (KHA)					
		Di dalam Tembok		Di dalam Pipa		Terbuka	
		1 fasa	3 fasa	1 fasa	3 fasa	1 fasa	3 fasa
1	1,5 mm	14 A	13 A	16,5 A	15 A	19,5 A	17,5 A
2	2,5 mm	18,5 A	17,5 A	23 A	20 A	27 A	24 A
3	4 mm	25 A	23 A	30 A	27 A	36 A	32 A
4	6 mm	32 A	29 A	38 A	34 A	46 A	41 A
5	10 mm	43 A	39 A	52`A	46 A	63 A	57A

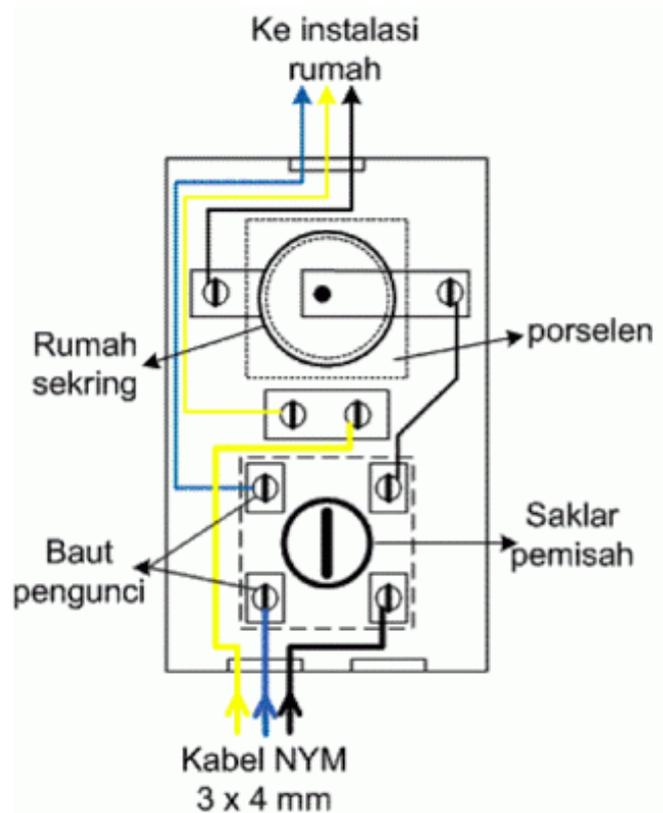
5. Pemasangan Instalasi Kotak Kontak Biasa (KKB)

Setiap ruang yang didinginkan untuk penyimpanan makanan termasuk ruang pendinginan (*cold room*) dan pembekuan (*freezer room*), harus dianggap ruang lembab. Instalasi listrik dalam ruang tersebut harus memenuhi persyaratan tertentu, kecuali ruang yang didinginkan untuk keperluan memperoleh kenyamanan hunian, seperti room air conditioner (RAC).

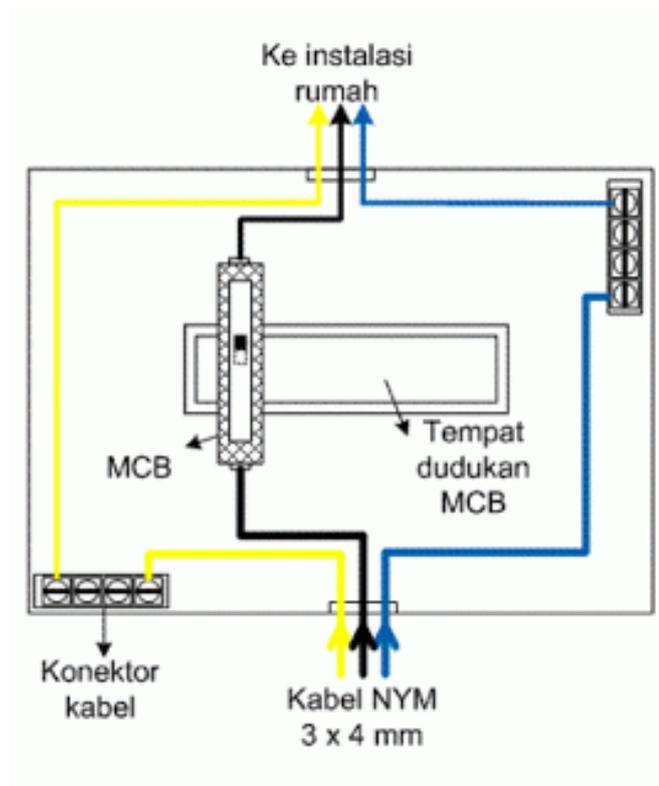
Sistem instalasi listrik dalam ruang yang didinginkan untuk keperluan pengawetan makanan harus sedemikian rupa sehingga tidak terdapat daerah kantong ataupun saluran yang memungkinkan terkumpulnya embun/uap air, dan tidak terdapat bagian yang memungkinkan masuknya uap air ke dalam instalasi tersebut. Jika digunakan pipa instalasi logam, maka harus dipakai lem dan harus dilengkapi dengan fasilitas pengeluaran air yang sempurna. Pada setiap batas antara ruang yang didinginkan dan yang tidak, pipa instalasi tersebut harus diberi pengedap dengan kompon sehingga tidak bocor.

Penghantar yang digunakan harus yang berisolasi karet (NYIF) yang liat atau berisolasi thermoplastic (NYAF). Penghantar dengan isolasi PVC yang kaku pada umumnya tidak cocok untuk ruang yang suhunya lebih rendah dari – 15^{o}C. Tempat masuk penghantar baik ke fiting lampu, ke sakelar, atau ke alat listrik lainnya harus ditutup rapat dengan kompon.

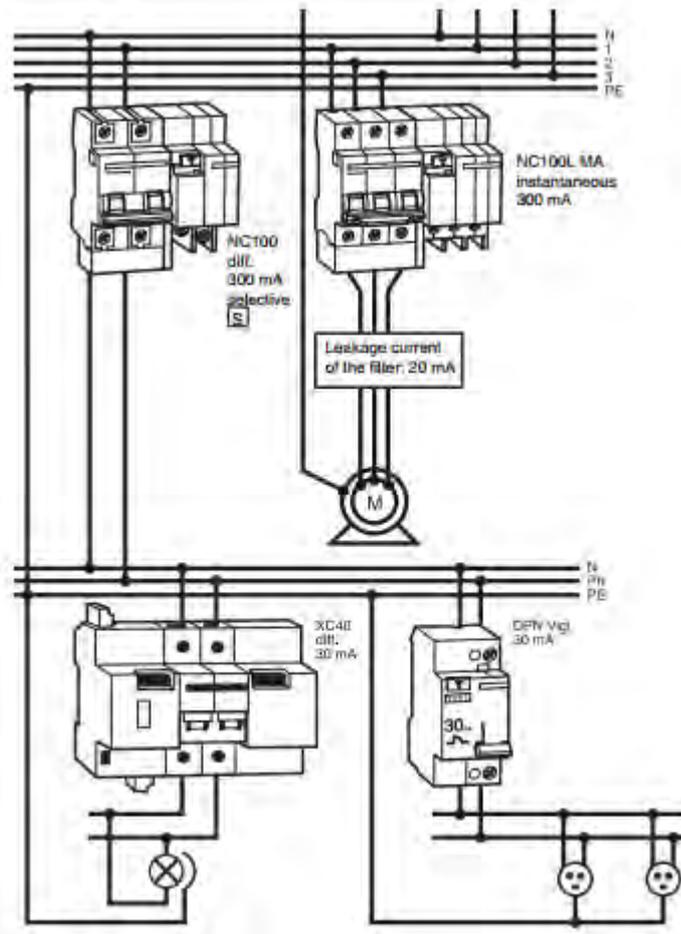
Gambar 4.2 Tipikal Pembagian Beban Listrik pada suatu jala-jala tegangan 220/380V

APP singkatan Alat Pembatas dan Pengaman. Disebut alat pembatas karena fungsinya sebagai pembatas pemakaian daya listrik. Pengaman berfungsi sebagai pengaman instalasi jika terjadi hubung singkat. Untuk instalasi rumah, alat pengaman dapat berbentuk box zekering atau box MCB (Mini Circuit Breaker). APP selalu diletakkan di bagian luar rumah, dan lazimnya ditempatkan menyatu dengan kWh-meter. Gambar 4.3 memperlihatkan prinsip pengawatan sebuah box zekering, sedang Gambar 4.4 memperlihatkan prinsip pengawatan pada box MCB.

Gambar 4.3 Box Zekering

Box Sekering merupakan komponen instalasi utama yang berfungsi sebagai pengaman dari instalasi listrik yang akan di pasang. Penggunaannya juga bisa diganti dengan menggunakan Box MCB yang fungsinya juga sebagai pengaman instalasi listrik. Pemasangan dari box sekering ini sedikit lebih rumit dibandingkan pemasangan Box MCB. Hal ini dikarenakan pada box sekering memiliki 2 bagian yaitu bagian saklar pemisah dan bagian tempat/rumah sekring.

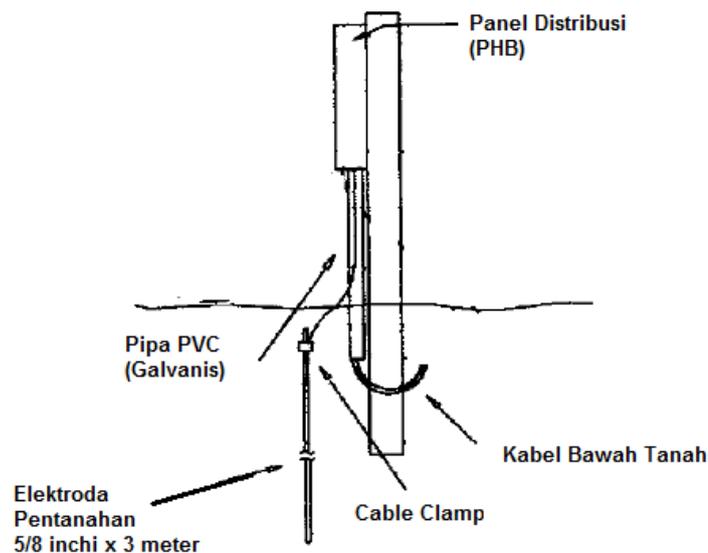
Untuk pemasangan box zekring ada baiknya pemasangan kabel NYM 3x4 mm^2 dilakukan terlebih dahulu sebelum box sekring tersebut dipasang didalam atau diluar dinding. Hal ini disebabkan ruangan untuk meletakkan kabel terbatas dan juga karakteristik kabel NYM 3x4 mm^2 yang sedikit keras jika di bengkokkan sehingga kita akan lebih leluasa mengerjakannya dibandingkan jika box zekring tersebut telah terpasang pada dinding.

Gambar 4.4 Kotak Panel Hubung Bagi (PHB)

Kotak panel hubung bagi atau lazim disebut sebagai Box MCB merupakan komponen pengaman instalasi listrik lain yang sering digunakan selain Box Sekering. Dibanding Lebih rapi dan lebih ringkas dalam pemasangannya adalah salah satu alasan orang lebih memilih Box MCB daripada Box Sekring. Akan tetapi Box MCB ini kurang cocok jika dipasang pada dinding kayu atau boleh juga dikatakan kurang bagus jika harus dipasang pada instalasi pasang luar walaupun box MCB untuk luar tembok ada di pasaran.

Seperti terlihat pada gambar diatas, pemasangan kabel NYM 3x4 mm^2 terlihat lebih leluasa walaupun Box MCB tersebut telah terpasang pada dinding. Hal ini tentu saja lebih mudah dalam pemasangannya jika dibandingkan dengan pemasangan Box Sekering.

Gambar 4.5 Gambar Pengawatan antara Kotak Kontak dengan Pengaman

Pembumian (Grounding)

Seluruh system tenaga listrik yang bertegangan di bawah 600 volt harus dilengkapi dengan arde atau penghantar pembumian. Penghantar pembumian ini harus terhubung langsung ke titik pembumian transformator distribusi (Lihat kembali TN dan TT System).

Gambar 4.6 memeprlihatkan contoh pemasangan system pembumian pada suatu PHB, pada system IT. Dalam hal ini PHB dilengkapi dengan kawat pembumian yang terhubung langsung ke elektroda pembumian.

Gambar 4.6 Pemasangan Kabel Pentanahan

Pasang elektroda arde ke dalam tanah. Sebaiknya dalam pemasangan elektroda arde dilakukan sedemikian rupa hanya menggunakan bantuan tangan saja alias jangan dipalu. Jika dalam penanaman elektroda arde tersebut tertambat bebatuan sebaiknya penanaman digeser ketempat lain dengan tetap memperhatikan panjang kabel BC terhadap letak kotak pengaman. Dari sebab inilah mengapa pada penanaman elektroda arde jangan dipukul dengan palu besi, karena dikawatirkan elektroda ground/arde menjadi bengkok bahkan lebih parah lagi jika sampai lapisan tembaga pada elektroda tersebut mengelupas.

Perlu diingat bahwa elektroda ground/arde yang umum dijual biasanya terbuat dari besi/baja yang digalvanis alias dilapisi tembaga dan lapisan tembaga inilah yang sedikit banyak mempengaruhi tingkat konduktifitas dari elektroda arde tersebut. Agar lebih mudah gunakan bantuan air untuk melunakkan lapisan tanah yang ditanami elektroda ground/arde tersebut. Disamping itu, anda bisa campur air yang digunakan untuk penanaman grounding tersebut dengan serbuk arang ataupun abu gosok. Campuran air dengan serbuk arang/abu gosok terbilang efektif untuk memperbaiki hambatan dalam tanah. Ingat, dalam pemberian campuran air tersebut

tentu saja digunakan pada saat penanaman grounding alias air campuran tersebut harus ikut meresap didalam lobang tempat elektroda ground/arde. Jika anda hanya menyiramkan di atas permukaan tanah tentu saja percuma karena serbuk arang/abu gosok tidak akan ada fungsinya.Sisakan penanaman elektroda ground/arde kurang lebih 20 cm diatas permukaan tanah untuk penyambungan dari kabel BC.

Ikatkan Kabel BC pada elektroda ground. Mengingat kabel BC sangat kaku, anda bisa bantu memperkuat pengikatan dengan cincin penjepit yang biasanya disertakan ketika anda membeli elektroda ground/arde. Pastikan pengikatan kabel BC ke elektroda ground/arde terikat kuat sehingga koneksi antara kedua bahan tersebut benar-benar baik. Jika dirasa masih belum cukup kuat, anda bisa bantu lagi perkuat pengikatan dengan menggunakan kabel NYA dengan terlebih dahulu mengupas isolasi dari kabel NYA tersebut.

Setelah selesai menghubungkan antara elektroda ground/arde dengan kabel BC, masukkan sisa elektroda ground/arde sampai tertanam seluruhnya kedalam tanah. Rapikan tanah diatas tempat elektroda ground/arde tersebut atau anda juga bisa menggunakan adukan semen jika akan dibuat permanen.Rapikan sisa kabel BC yang akan dihubungkan pada kotak pengaman. Anda bisa menggunakan peralon jika kabel BC tersebut diletakkan diluar tembok atau anda bisa tanam langsung didalam tembok kemudian ditutup dengan adukan semen. Jangan lupa sisakan sedikit pada ujungnya(sekitar 20cm) buat penyambungan ke kotak pengaman.

Untuk pemasangan kotak pengaman ada baiknya anda membaca cara memasang box sekering jika anda memilihnya sebagai kotak pengaman atau cara memasang box MCB jika dipilih sebagai kotak pengamannya.

Penentuan Jenis dan Ukuran Kabel Listrik

Sebelum mulai memasang instalasi listrik, yang paling penting menentukan jenis, luas penampang kabel listrik, dan warna kabel yang dibutuhkan dalam instalasi.

Jenis kabel.

Umumnya kabel yang digunakan dalam instalasi adalah jenis NYA (didalam kabel hanya terdiri 1 kawat penghantar tembaga pejal terbungkus isolator) atau jenis NYM (didalam kabel berbungkus isolator ini terdiri dari 2 ,3 atau 4 kawat penghantar tembaga pejal). Pada lokasi tertentu yang memerlukan persyaratan khusus dapat digunakan kabel yang lebih kokoh dan kuat, yaitu menggunakan kabel NYY.

Luas penampang penghantar.

Luas penampang penghantarberkaitan langsung dengan kemampuan hantar arus dari kabel listrik yang digunakan. Luas penampang penghantar pada kabel listrik tersedia dalam berbagai ukuran, mulai dari yang paling kecil hingga ukuran paling besar. Ukuran paling kecil adalah 1,5 mm^2; 2,5 mm^2; 4 mm^2; 6 mm^2 dst. Sebenarnya dalam memasang instalasi dilakukan perhitungan mengenai berbagai faktor termasuk diantaranya menentukan besar maupun jenis kabel yang digunakan.

Untuk keperluan praktis, kabel ukuran 1,5 mm^2 digunakan pada instalasi untuk saluran lampu penerangan, sedang kabel ukuran 2,5 mm^2 digunakan untuk saluran utama dan untuk saluran stop kontak atau kotak kontak biasa (KKB). Kotak kontak biasa mampu memikul arus hingga 16 amper.Untuk kotak kontak khusus (KKK), ukuran kabel harus menyesuaikan kemampuan kotak kotak khusus.

Warna kabel.

Warna kabel merupakan standarisasi yang berlalku secara nasional yang tidak dapat ditawar-tawar. Standarisasi warna kabel merupakan upaya cerdas untuk mencegah terjadinya kesalahan dalam pemasangan dan sekaligus juga untuk mempermudah dalam pemasangan instalasi listrik yang aman. Setiap personil yang bekerja pada sistem ketenagalistrikan harus mematuhi PUIL (peraturan umum instalasi listrik).PUIL mensyaratkat kabel warna merah atau hitam untuk penghantar fasa, warna biru untuk penghantar netral dan warna kuning bergaris hijau (banyak juga yang menyebut kuning loreng) untuk penghantar pentanahan(arde/ground).

Menentukan panjang kabel yang diperlukan.

Tentukan pajang jalur utama instalasi listrik dan jangan lupa dilebihkan sedikit (kira-kira 20cm) untuk keperluan penyambungan ke komponen instalasi listrik misalnyakotak kotak biasa (stop kontak) dan box MCB. Untuk pemasangan kotak kotak biasa atau kotak kontak khusus harus menggunakan kabel NYA 3 x 2,5 mm^2. Untuk memperindah instalasi listrik, dapat dilakukan dengan menggunakan pipa. Jika menggunakan pipa, maka paling ekonomis jika kabel yang digunakan dari jenis NYA. Gunakan kabel NYA 1 x 2,5 mm2, tiga warna, yaitu merah atau hitam untuk penghantar fasa, warna biru untuk penghantar netral, dan hijau-kuning untuk penghantar pentanahan

Kerja Proyek:

Instalasi kotak kontak biasa (KKB) terdiri dari dua sistem, yaitu (1) sistem satu fasa, dan (2) sistem tiga fasa. Tugas kalian kali ini adalah mendemonstrasikan pemasangan instalai kotak kontak untuk keperluan pemasangan unit tata udara domestik.. Untuk itu kalian harus mengumpulkan berbagai informasi yang relevan, sebagai landasan berfikir untuk menginvestigasi prosedur pemasangan instalasi kotak kontak biasa. Petunjuk: Yang perlu kalian investigasi adalah berapa kapasitas pemutus (breaker) yang diperlukan sesuai dengan unit tata udara yang akan dipasang dan berapa ukuran dan panjang kabel penghantar yang harus digunakan. Setelah selesai buat laporan dan presentasikan di kelas

Permasalahan

1. Jelaskan perbedaan sistem jaringan distribusi primer dan sekunder!
2. Buat gambar sketsa yang mengambarkan sistem distribusi tenaga listrik di tempat pelanggan!
3. Uraikan sistem tegangan yang sampai ke tempat konsumen!
4. Deskripsikan perbedaan sistem pentanahan sistem TN dan sistem TT!
5. Uraikan cara menentukan ukuran kabel dan pengaman!
6. Deskripsikan standarisasi warna kabel!
7. Uraikan standarisasi Kekuatan hantar arus menurut standar IEE!
8. Bagaimana cara memasang elektroda pembumian?

DAFTAR PUSTAKA

Montgomery, Ross & Dowall, Robert Mc., 2008, *Fundamental of HVAC Control System*, Printed in the United States of America.

CP Arora, 2001, *Refrigeration & Air Conditioning*, Second Edition, Mc Graw Hill Book Co - Singapore

Goliber, Paul F., 1986 *Refrigeration Servicing*, Bombay, D.B. Taraporevala Son & Co, Private Ltd.

Harris, A, 1986, *Air Conditioning Practice*, 2nd edition, Prentice Hall

Roy J Dossat, 1978, *Principle of Refrigeration,* second edition, John Wiley Sons, USA

Trane reciprocating Refrigeration Manual

Basic Servising, 1986, Box Hill College, Melbourne, Australia

Peraturan Umum Instalasi Listrik 2000